

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

Водка А.А., Кедровская О. В.

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ
АНАЛИЗА ДИНАМИКИ И ПРОЧНОСТИ МАШИН И ИХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Лабораторный практикум по курсу
«Интегрированные компьютерные системы проектирования и анализа»

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 3 от 22.12.2016 р.

Харьков
НТУ «ХПИ»

2017

УДК 539.3
ББК 22.2, 32.81
К 33

Рецензенты:

В. К. Аврамов, д-р техн. наук, профессор, Институт проблем машиностроения
им. А.Н.Подгорного НАН Украины;
Ю.Н. Ульянов, канд. техн. наук, ст.науч.сотр, Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

У посібнику представлена методика створення програмного забезпечення моделювання взаємодії користувача з технічними засобами програм, що дозволить студентам розробляти власні програмні забезпечення для проведення параметричного геометричного моделювання різноманітних конструкцій та їх елементів з подальшою можливістю проведення багатоваріантних розрахунків задач інженерного аналізу. Наведені лабораторні роботи з інтегрованих комп'ютерних систем аналізу поведінки елементів конструкцій.

Призначено для студентів спеціальностей 113 Прикладна математика, 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології.

Водка А.А.

К 33 Интегрированные компьютерные системы анализа динамики и прочности машин и их элементов : лабораторный практикум / А.А. Водка, О.В. Кедровская. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2017. – 48 с. – На рус. яз.

В пособии представлена методика создания программного приложения моделирующего взаимодействия пользователя с техническими средствами программ, что позволит студентам разрабатывать собственные программные приложения для проведения параметрического геометрического моделирования различных конструкций и их элементов с дальнейшей возможностью проведения многовариантных расчетов задач инженерного анализа. Приведены лабораторные работы по интегрированным компьютерным системам анализа поведения элементов конструкций.

Предназначено для студентов специальностей 113 Прикладная математика, 122 Компьютерные науки и информационные технологии.

Ил. 62. Табл. 1. Библиогр. 7 наим.

УДК 539.3
ББК 22.2.2, 32.81
© А.А. Водка, О.В. Кедровская, 2017
© НТУ «ХПИ», 2017

ВСТУПЛЕНИЕ

Дисциплина «Интегрированные компьютерные системы проектирования и анализа» является одной из основных в подготовке специалистов по специализациям «Информационные технологии проектирования» и «Компьютерная механика». В настоящем лабораторном практикуме приведены основы использования современных CAD/CAE технологий, которые могут эффективно применяться в анализе динамики и прочности машин.

В основу пособия положена методика, направленная на активное усвоение знаний на лекциях и приобретение практических навыков работы как с универсальными системами для проектирования и инженерного анализа, так с различными средами разработки прикладного программного обеспечения. Она ориентирована на самостоятельную и индивидуальную работу студентов, проявление творческих способностей. Настоящий лабораторный практикум состоит из пяти частей. Первые две части практикума посвящены прикладным вопросам оптимизации формы элементов машиностроительных конструкций. В них сделан акцент на поиск оптимальной формы кронштейна исходя из различных целевых функций и ограничений.

Третья часть практикума посвящена построению упрощенных моделей. В этих моделях упрощение выполняется путем замены некоторой части конструкции эквивалентными силами. Такой подход позволяет значительно сократить объем необходимой оперативной памяти и уменьшить время расчета.

Четвертая часть посвящена численному анализу потери устойчивости балочных конструкций.

Пятая часть посвящена моделированию контактного взаимодействия элементов механизма, а также расчету его динамического поведения и статической прочности. Особое внимание здесь уделено заданию параметров контактного взаимодействия, так как корректность задания этих параметров в наибольшей мере обеспечивает адекватность полученных результатов для всего механизма.

Таким образом, можно выделить цель преподавания и задачи дисциплины, которые состоят в совершенствовании умений по проектированию параметрических моделей машиностроительных конструкций, расширение познаний в сфере мультидисциплинарного инженерного анализа, изучение основных подходов к разработке прикладных систем для проектирования и расчета конструкций с возможностью интеграции и использованием мощностей существующих универсальных инженерных программных комплексов.

Лабораторная работа 1

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПОСРЕДСТВОМ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Консольный кронштейн, левая грань которого зафиксирована, нагружен, как показано на рис. 1.1. Выполним оптимизацию для изменения размера центрального выреза. Цель – минимизировать массу без превышения максимального напряжения.

Исследование проектирования позволяет автоматизировать процесс оптимизации, используя параметрические и моделирующие функции программы, а также ее способности автоматической регенерации.

В настоящей работе изучим следующее:

- создание оптимизационного исследования проектирования;
- определение переменных, ограничения и целей;
- просмотр результатов процесса оптимизации;
- создание графиков локальной тенденции.

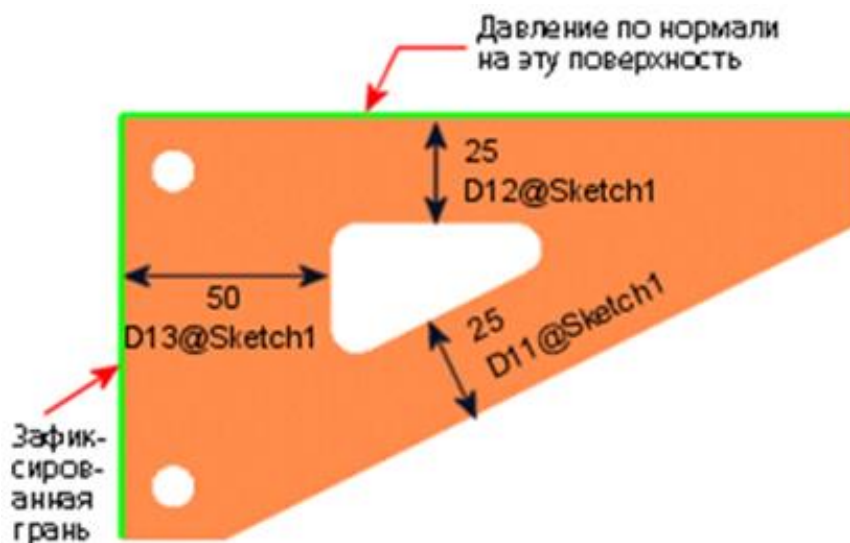


Рисунок 1.1 – Задание для проведения оптимизации

Этап 1. Запуск исходных исследований Simulation

1. В САПР SolidWorks на основе чертежа, представленного на рис. 1.2, создайте 3D-модель кронштейна (рис. 1.3).

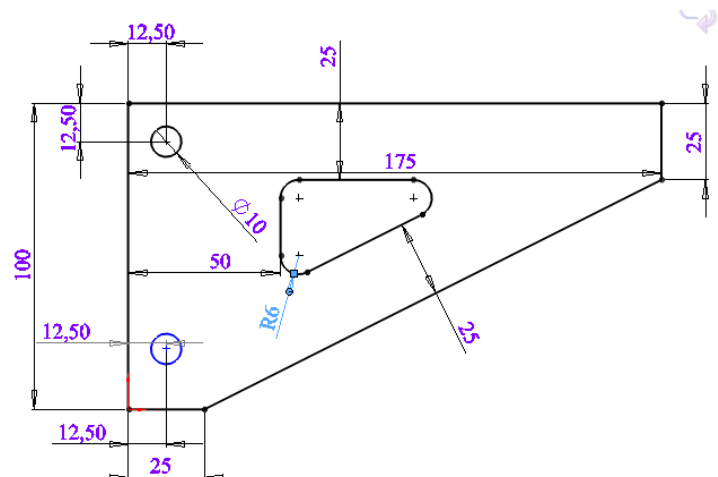


Рисунок 1.2 – Размеры модели

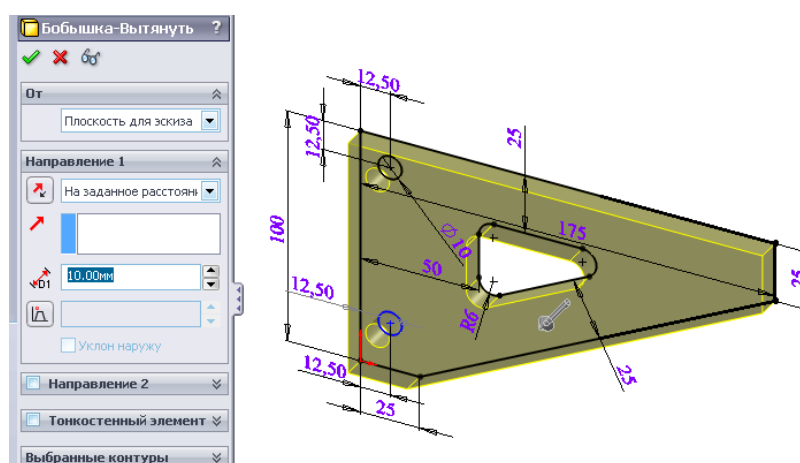


Рисунок 1.3 – 3D-модель кронштейна

2. Создайте статическое исследование и назовите его **Static_1** (рис. 1.4).

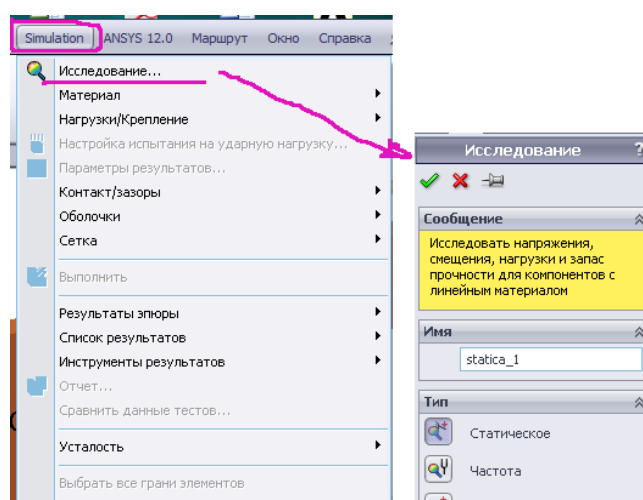


Рисунок 1.4 – Создание статического исследования

3. Задайте материал конструкции – легированная сталь (рис. 1.5).

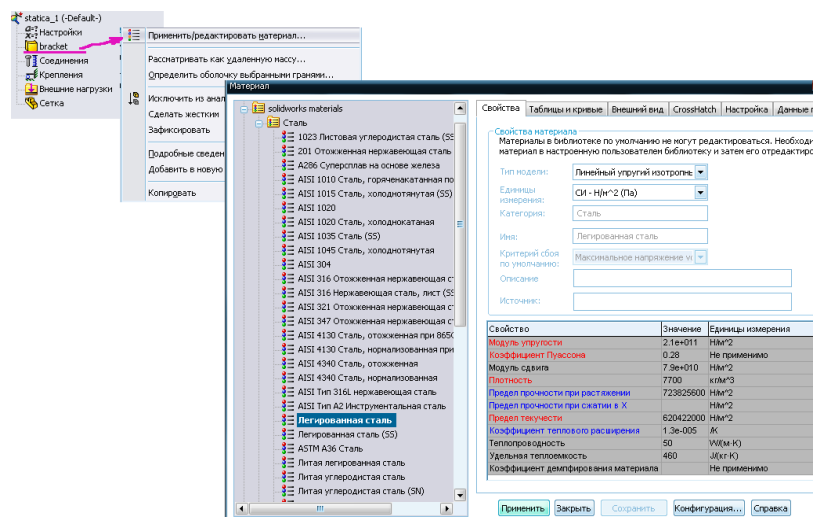


Рисунок 1.5 – Задание материала конструкции

4. Задаем нагрузку – прикладываем давление на выбранную грань – $5 \cdot 10^6$ Н/м² (рис. 1.6).

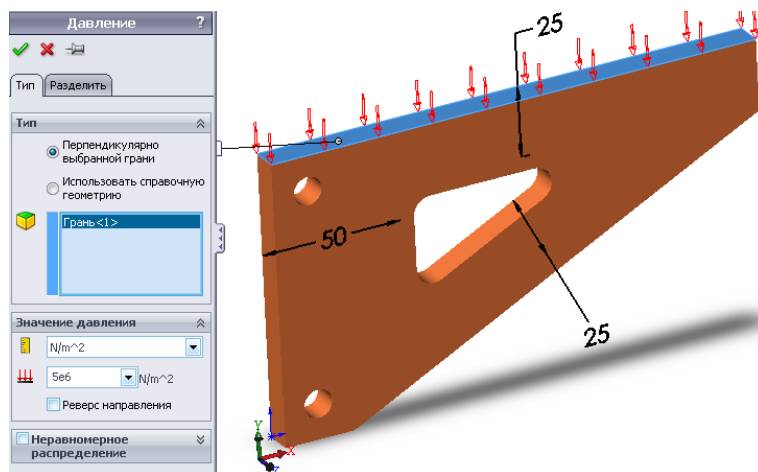


Рисунок 1.6 – Прикладываем нагрузки

5. Задаем граничные условия – накладываем на выбранную грань ограничение **Фиксированный**, как показано на рис. 1.7.

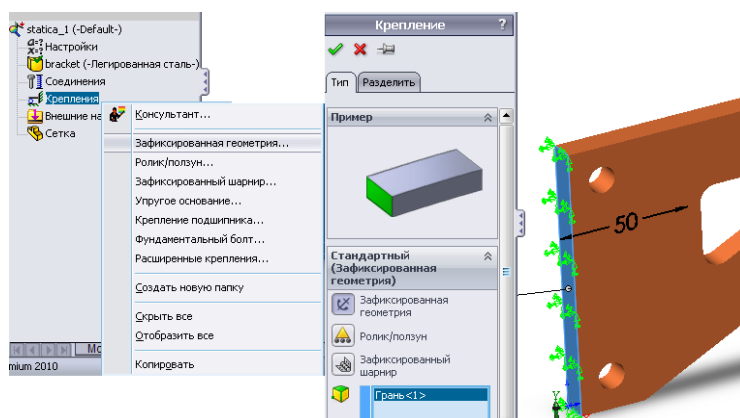


Рисунок 1.7 – Задаем граничные условия

Оптимизационные исследования проектирования требуют наличия исходных исследований, если датчики используются в качестве ограничений или целей. Требуемые исходные исследования зависят от целей и ограничений, которые Вы выберете. Например, для минимизации значения массы с ограничением по напряжению необходимо определить исходное статическое исследование.

6. Выберем вкладку **Static_1**, затем в дереве исследования **Simulation** нажмем правой кнопкой мыши на **Static_1** и выберем **Запуск**. Просматриваем результаты, изменяем параметры величин и параметры графика (рис. 1.8, рис. 1.9)

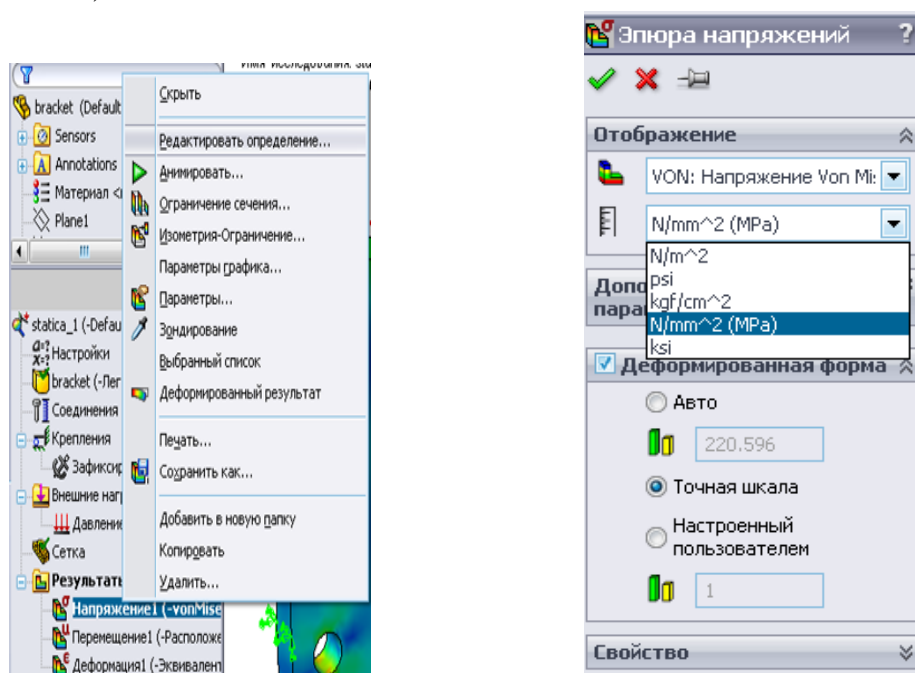


Рисунок 1.8 – Выбор параметров величин

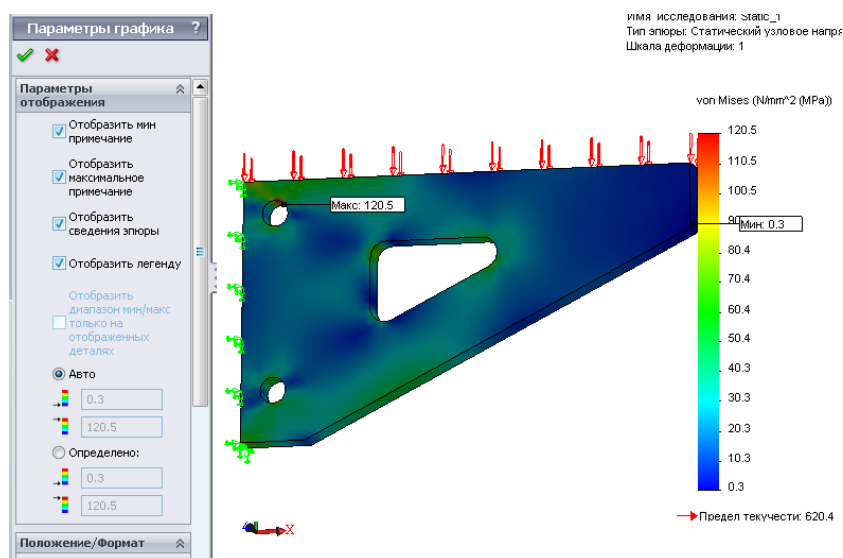


Рисунок 1.9 – Изменяем параметры графика

7. В дереве конструирования **FeatureManager** выберите **Sensors** (Датчики) и создайте датчики (рис. 1.10):

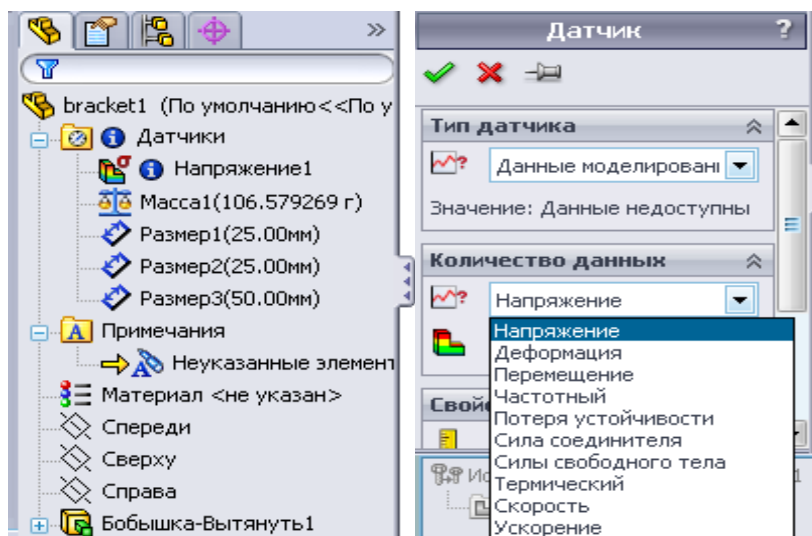


Рисунок 1.10 – Создание датчиков

Масса1 – для отслеживания массы: тип датчика «массовые характеристики», свойства «масса». **Напряжение1** – для отслеживания напряжений: тип датчика «данные моделирования», свойства «напряжение», компонент «напряжение по Мизесу», единицы измерения – н/мм², критерий – «Макс модели». **Размер1, Размер2, Размер3** – для определения переменных. Необходимо определить датчики для их использования в качестве ограничений в **Исследовании проектирования**. Исследование проектирования (будет создано ниже) запускает соответствующее исходное исследование **Simulation** для обновления значения датчика. Например, оно запускает статическое исследование для отслеживания значений напряжений в конструкции.

Этап 2. Создание оптимизационного исследования проектирования

Чтобы создать Оптимизационное исследование проектирования:

1. Нажмите правой кнопкой мыши на вкладку **Static_1** и выберите **Создать новое исследование проектирования** (рис. 1.11).

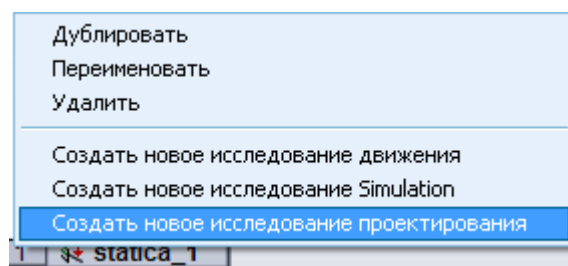



Рисунок 1.11 – Создание Оптимизационного исследования

2. Нажмите правой кнопкой мыши вкладку **Исследования проектирования** и выберите **Переименовать**. Назовите исследование – **MinMas**

3. На вкладке **MinMas** нажмите **Параметры исследования проектирования** .

4. В **PropertyManager** в разделе **Качество исследования проектирования** выберите **Высокое качество (медленнее)**.

Программа находит оптимальное решение, используя множество итераций (планирование Бокса-Бенкена) и отображает исходный сценарий, оптимальный сценарий и все итерации.

5. Нажмите кнопку .

Этап 3. Определение параметров

Необходимо определить размеры модели, которые могут изменяться как параметр, определить параметры, чтобы использовать их в качестве переменных для Исследования проектирования. Можно определить любые параметры **Simulation** и управляющие глобальные переменные в качестве переменных.

1. На вкладке **Просмотр Переменных** вкладки исследования **MinMass** в разделе **Переменные** выберите **Добавить параметр** (рис. 1.12).

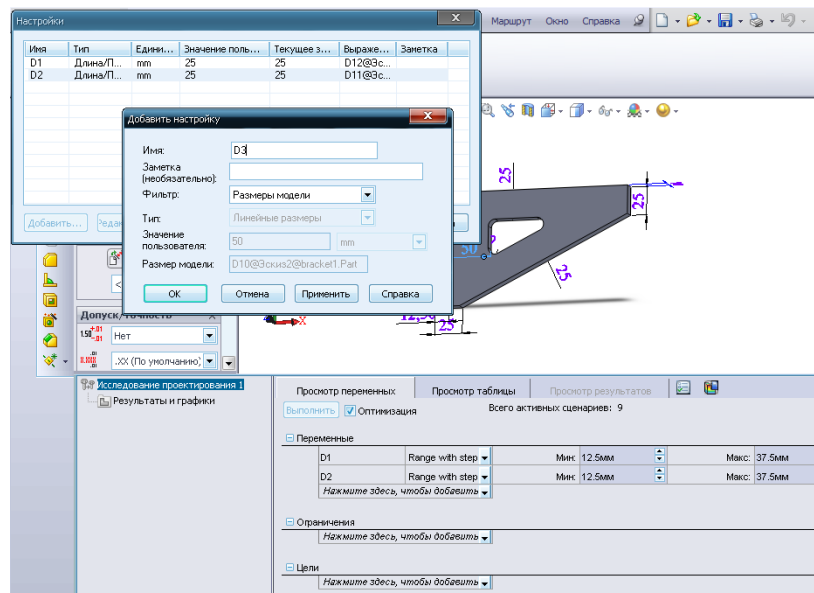


Рисунок 1.12 – Определение параметров

Отображается диалоговое окно **Добавить параметры**.

2. В диалоговом окне **Добавить параметры** в поле **Имя** введите **D1**.

3. Установите **Фильтр** на **Размеры модели**.

4. В графической области выберите размер **D1**, показанный на рисунке 1.13.

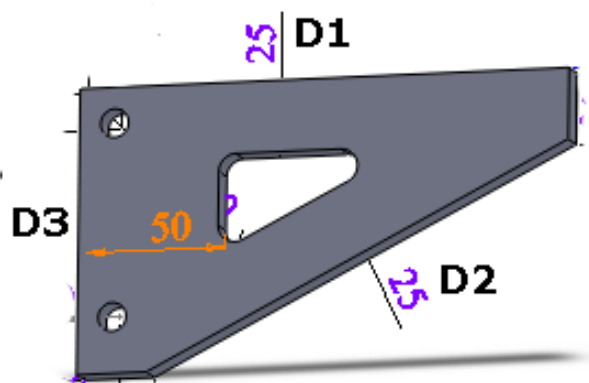


Рисунок 1.13 – Графическая область

5. Нажмите кнопку **ОК** , чтобы закрыть диалоговое окно **Добавить параметры**.

D1 появится в окне списка **Параметры**.

6. Щелкните **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно **Параметры**. Аналогично определяем параметры **D2**, **D3**.

Этап 4. Определение переменных

Определяем три параметра – D1, D2 и D3 в качестве переменных.

1. На вкладке **Просмотр переменных** вкладки исследования **MinMas** в разделе **Переменные** выберите **D1**.

2. Для переменной **DV1** выберите **Диапазон**.

Программа определяет параметр как непрерывную переменную для оптимизации. Непрерывная переменная – это переменная, которая может принимать любое значение внутри пределов. Например, 14,1567 мм является допустимым значением между минимальным значением 10 мм и максимальным значением 25 мм.

3. В поле **Мин** введите **12,5 мм** и в поле **Макс** – **37,5 мм**.

Программа варьирует размеры модели между **12,5 мм** и **37,5 мм** для нахождения оптимального значения для переменной.

4. Повторите шаги 1 – 3 для добавления параметра **D2**.

5. Повторите шаги 1 – 3 для добавления параметра **D3** . Введите **25 мм** и **75 мм** для параметров **Мин** и **Макс**, соответственно.

Раздел **Переменные** содержит три переменных проекта (рис. 1.14).

Этап 5. Определение датчика с помощью Исследования проектирования

Необходимо определить датчики для их использования в качестве ограничений в **Исследовании проектирования**. Исследование проектирования запускает соответствующее исходное исследование Simulation для обновления

значения датчика. Например, оно запускает исследование статике для отслеживания значений напряжений.

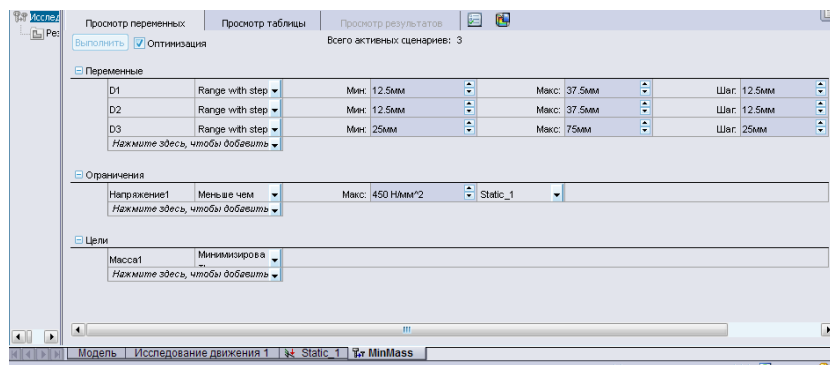




Рисунок 1.14 – Раздел Переменные

1. На вкладке **Просмотр переменных** вкладки исследования **MinMas** в разделе **Ограничения** выберите **Добавить датчик**.



2. В окне PropertyManager в разделе Тип датчика , выберите **Данные моделирования**.

3. В разделе **Данные количественной величины** в поле Результаты  выберите **Напряжение**.

4. В компоненте  выберите **VON: напряжение по Мизесу**.

5. В разделе Свойства в поле **Единицы измерения**  выберите **Н/мм² (МПа)**.

6. В разделе **Критерий**  выберите **Макс модели** и нажмите на .

7. В дереве конструирования FeatureManager  в разделе **Датчики**  назовите датчик **Мизес**.

Просмотрите датчики, они отслеживает **максимальное напряжение** и **массу** кронштейна. Аналогично можно создать любые датчики.

Этап 6. Определение ограничения напряжения по Мизесу

Ограничение применяется к максимальному напряжению по Мизесу, которое не должно превышать значения 450 МПа (Предел текучести для легированной стали равен 620 МПа, запас прочности для машиностроительных конструкций должен быть около 1,5). Для определения ограничений в исследовании проектирования «оптимизация» можно использовать любой датчик или любую управляемую глобальную переменную. Для получения дополнительной информации об определении датчиков в качестве ограничений исследования проектирования посмотреть раздел документа *Справка*

SolidWorks Simulation Определение ограничений.

1. На вкладке **Исследования проектирования MinMas**, в разделе **Ограничения**, выберите значение **Напряжение 1**.

В разделе **Ограничения** отобразится соответствующий датчик.

2. В поле **Напряжение** по Мизесу выберите значение **Меньше**.

3. В поле **Макс** введите 450 Н/мм².

Программа автоматически выбирает исследование Static_1, используемое для запуска и отслеживания значения датчика, поскольку определено только одно статическое исследование.

Этап 7. Определение цели

Целью настоящего Оптимизационного исследования проектирования является минимизация массы детали.

1. На вкладке **Исследования проектирования MinMas** в разделе **Цели** в списке выберите датчик **Масса1**. Датчик отобразится в разделе **Цели**.

2. В поле **Масса1** выберите **Минимизировать** рис. 1.15.

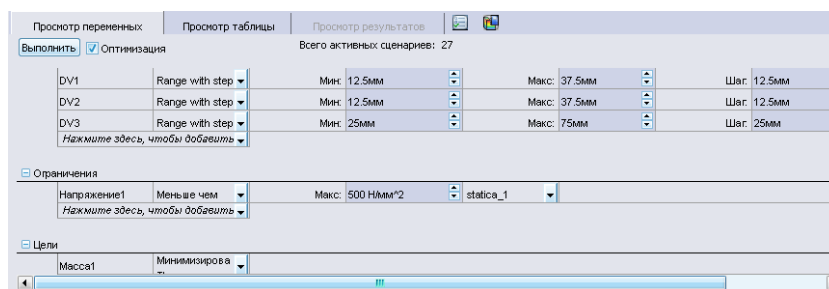


Рисунок 1.15 – Определение цели

Можно также определить несколько целей в Оптимизационном исследовании проектирования. Можно присвоить значимость каждой из целей. Чем выше значимость цели, тем более важно оптимизировать эту цель. Программа изменяет конечную значимость цели следующим образом: (введенная Вами значимость цели)/(сумма значимостей введенных Вами целей).

Этап 8. Запуск оптимизационного исследования проектирования

На вкладке **Исследования проектирования MinMas** выберите **Выполнить**.

Программа выполняет 27 итераций (исключая исходный и оптимальный сценарии) после определения исследования **Высокого качества** и трех расчетных переменных. После выполнения экспериментов программа

рассчитывает оптимальные расчетные параметры путем создания функции отклика, относящейся к цели переменных.

Этап 9. Просмотр результатов

На вкладке Просмотр результатов исследования проектирования MinVolume выполните следующие действия (рис. 1.16).

Просмотр переменных Просмотр таблицы Просмотр результатов									
25 из 29 сценариев завершены успешно. Качество исследования проектирования: Высокое									
		Current	Initial	Optimal (2)	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	
D1		25mm	25mm	25mm	12.5mm	25mm	37.5mm	12.5mm	2
D2		25mm	25mm	12.5mm	12.5mm	12.5mm	12.5mm	25mm	2
D3		50mm	50mm	25mm	25mm	25mm	25mm	25mm	2
Напряжение1	$\leq 450 \text{ Н/мм}^2$	120.54 Н/мм ²	120.54 Н/мм ²	198.32 Н/мм ²	503.89 Н/мм ²	198.32 Н/мм ²	155.14 Н/мм ²	220.11 Н/мм ²	1
Масса1	Minimize	0.106579	0.106579	0.081276	0.064457	0.081276	0.094969	0.083055	0

Рисунок 1.16 – Вкладка Просмотр результатов

1. Выберите столбец **Начальное** (рис. 1.17).

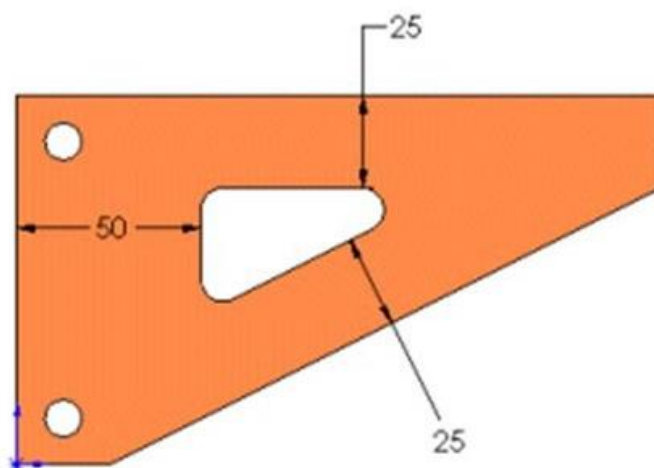


Рисунок 1.17 – Начальные параметры модели

В графическом окне к модели будут применены начальные размеры.

2. Взгляните на столбец **Scenario1** (рис. 1 18). Этот столбец выделен красным цветом, поскольку нарушены ограничения, касающиеся напряжения по Мизесу.

Примечание: Не допускается создание **графика локальной тенденции** для оптимизационного исследования проектирования с непрерывными переменными.

2. В окне **PropertyManager** в разделе **Ось X** выберите **DV2**.

3. В **PropertyManager** в разделе **Ось Y** выберите **Ограничение** и в **Ограничении** выберите **По Мизесу**.

4. В разделе **График локальной тенденции** выберите **Оптимальный**.

Программа создает график вариации максимального напряжения по Мизесу по сравнению с расчетной переменной **DV2**. Тенденция отображается с двумя другими расчетными параметрами, установленными на оптимальные значения, как показано в столбце **Оптимальный**. Единицы измерения – МПа и мм для осей Y и X соответственно.

5. Закройте график (рис. 1.21).

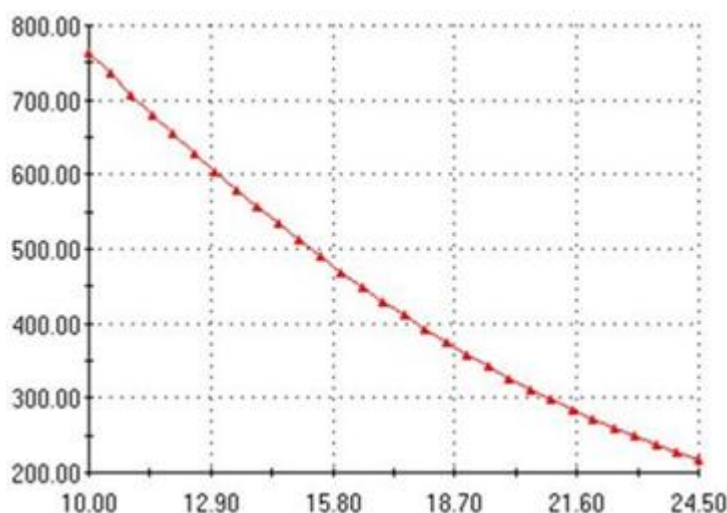


Рисунок 1.21 – График локальной тенденции

Этап 11. Оптимизация дискретных переменных

Для целей производства при определении непрерывных расчетных параметров следует округлить до ближайшего числа, которое может быть измерено с точностью процесса изготовления.

Для окончательных чертежей округлить расчетные параметры, перестроить модель, создать сетку и запустить статическое исследование.

В качестве альтернативы можно использовать дискретные значения для переменных, которые должны соответствовать стандартам процесса изготовления, и выполнить оптимизацию.

Лабораторная работа 2

ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ ПОСРЕДСТВОМ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ – ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ

Консольный кронштейн, левая грань которого зафиксирована, нагружен, как показано на рис. 2.1. Выполним оптимизацию для изменения размера центрального выреза. Цель – минимизировать объем без превышения максимального напряжения и значения деформаций. Также низшая собственная частота должна быть в пределах установленного диапазона.

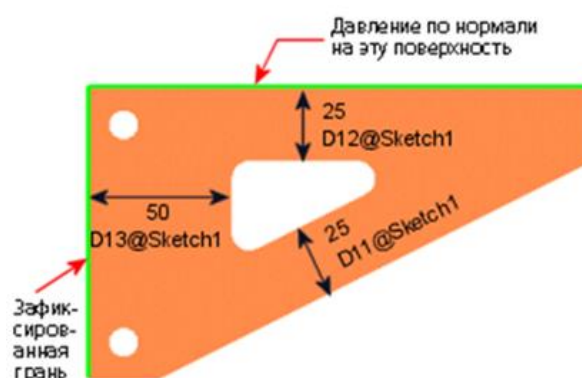


Рисунок 2.1 – Задание для проведения оптимизации

В настоящем упражнении изучим следующее:

- создание оптимизационного исследования проектирования;
- определение переменных, ограничения и целей;
- просмотр результатов процесса оптимизации;
- создание графиков локальной тенденции.

Этап 1. Запуск исходных исследований Simulation

1. В САПР SolidWorks откройте подготовленную 3D-модель детали.
2. У вас уже готовы два исследования: статическое **Static_1** и исследования проектирования– **MinMas**.
3. Откройте вкладку исследования проектирования– **MinMas**
4. В закладке Просмотр результатов выделите столбец исходных данных и перестройте по ним модель

Просмотр переменных		Просмотр таблицы		Просмотр результатов		
25 из 29 сценарий завершены успешно. Качество исследования проектирования: Высокое						
		Current	Initial	Optimal (2)	Scenario 1	Scenario 2
D1		25mm	25mm	25mm	12.5mm	25mm
D2		25mm	25mm	12.5mm	12.5mm	12.5mm
D3		50mm	50mm	25mm	25mm	25mm
Напряжение1	< 450 Н/мм²	120.54 Н/мм²	120.54 Н/мм²	198.32 Н/мм²	503.89 Н/мм²	198.32 Н/мм²
Масса1	Minimize	0.106579	0.106579	0.081276	0.064457	0.081276

Рисунок 2.2 – Закладка Просмотр результатов

Оптимизационные исследования проектирования требуют наличия исходных исследований, если датчики используются в качестве ограничений или целей. Требуемые исходные исследования зависят от целей и ограничений, которые Вы выберете. Например, для минимизации значения резонансных частот необходимо определить исходное **частотное** исследование.

5. Создайте исследование **Частота** и назовите его **Frequency_1**.

Задайте свойства материала, из которого изготовлена деталь – легированная сталь и ограничение **Фиксированный** (рис. 2.3).

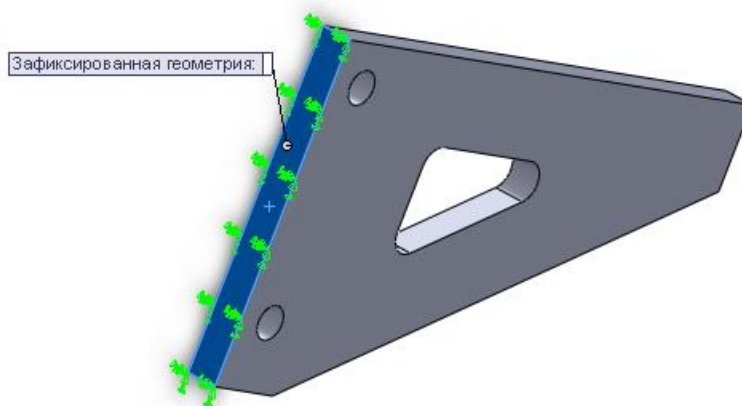


Рисунок 2.3 – Ограничение **Фиксированный**

6. В дереве исследования **Simulation** нажмите правой кнопкой мыши на  **Frequency_1** и выберите **Запуск** .

7. В дереве конструирования **FeatureManager** выберите **Sensors** и создадите датчики:

Volume1 – для отслеживания объема: тип датчика «массовые характеристики», свойства «объем»;

Stress1 – для отслеживания напряжений: тип датчика «данные моделирования», свойства «напряжение», компонент «напряжение по Мизесу», единицы измерения – н/мм², критерий – «Макс модели»;

Frequency – для отслеживания частоты: тип датчика «данные моделирования», свойства «частотный», единицы измерения – Hz, критерий – «Макс модели», форма колебаний – «1».

Необходимо определить датчики для их использования в качестве ограничений в **Исследовании проектирования**. Исследование проектирования (будет создано ниже) запускает соответствующее исходное исследование **Simulation** для обновления значения датчика. Например, оно запускает частотное исследование для отслеживания значений резонансных частот.


Этап 2. Создание оптимизационного исследования проектирования

Чтобы создать Оптимизационное исследование проектирования:

1. Нажмите правой кнопкой мыши на вкладку **ReadyFrequency** и выберите **Создать новое исследование проектирования**.

💡 Также можно использовать другие вкладки исследования для создания Исследования проектирования.

2. Нажмите правой кнопкой мыши вкладку Исследования проектирования и выберите **Переименовать**. Назовите исследование – **MinVolume (МинОбъем)**.

3. На вкладке **MinVolume**, нажмите **Параметры исследования проектирования** .

4. В PropertyManager в разделе **Качество исследования проектирования** выберите **Высокое качество (медленнее)**.

💡 Программа находит оптимальное решение, используя множество итераций (планирование Бокса–Бенкена), и отображает исходный сценарий, оптимальный сценарий и все итерации.

5. Нажмите кнопку .

Этап 3. Определение параметров

Необходимо определить размеры модели, которые могут изменяться как параметр. Необходимо определить параметры, чтобы использовать их в качестве переменных для Исследования проектирования. Можно определить любые параметры **Simulation** и управляющие глобальные переменные в качестве переменных (рис. 2.4).

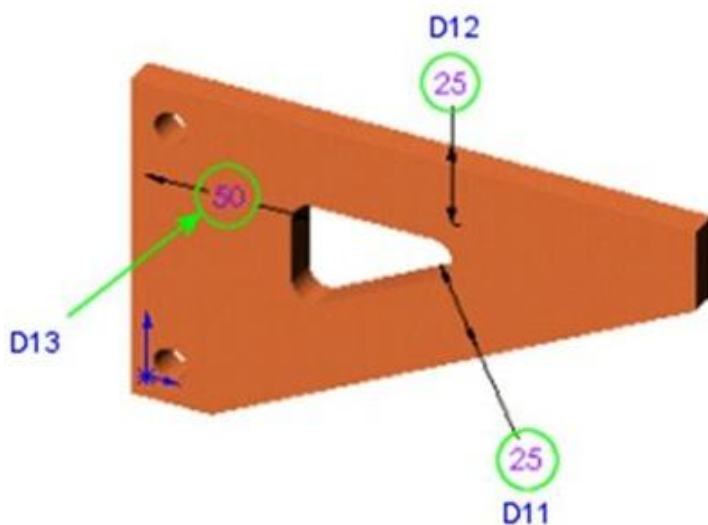



Рисунок 2.4 – Определение параметров

 Параметр, назовем его **DV1**, определен в файле примера. Чтобы следовать следующей ниже процедуре, удалите предварительно определенный параметр в диалоговом окне **Параметры**.

Чтобы определить параметр DV1:

1. На вкладке **Вид переменной** вкладки исследования **MinVolume (МинОбъем)** в разделе **Переменные** выберите **Добавить параметр**.
2. Отображается диалоговое окно **Добавить параметры**.
3. В диалоговом окне **Добавить параметры** в поле **Имя** введите **DV1**.
4. Установите **Фильтр** на **Размеры модели**.
5. В графической области выберите размер **D11**, показанный на рисунке 2.1.
6. Нажмите кнопку **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно **Добавить параметры**.

7. **DV1** появится в окне списка **Параметры**.

6. Щелкните **ОК**, чтобы закрыть диалоговое окно **Параметры**.

Параметры **DV2** и **DV3** определены в файлах примеров с использованием похожей процедуры.


Этап 4. Определение переменных

Определите три параметра – **DV1**, **DV2** и **DV3** в качестве переменных.

1. На вкладке **Вид переменной** вкладки исследования **MinVolume (МинОбъем)** в разделе **Переменные** выберите **DV1 (D11@Sketch1** в эскизе).

2. Выбранная переменная отобразится в разделе **Переменные**.

3. Для переменной **DV1** выберите **Диапазон**.

4.  Программа определяет параметр как непрерывную переменную для оптимизации. Непрерывная переменная – это переменная, которая может принимать любое значение внутри пределов. Например, 14,1567 мм является допустимым значением между минимальным значением 10 мм и максимальным значением 25 мм.

5. В поле **Мин** введите **10 мм** и в поле **Макс** – **25 мм**.

6. Программа варьирует размеры модели между 10 мм и 25 мм для нахождения оптимального значения для переменной.

7. Повторите шаги 1–3 для добавления параметра **DV2 (D12@Sketch1** в эскизе) в качестве переменной. Используйте те же минимальные и максимальные значения, как для **DV1**.

8. Повторите шаги 1–3 для добавления параметра **DV3(D13@Sketch1** в эскизе) в качестве переменной. Введите 20 и 50 для параметров **Мин** и **Макс** соответственно.


Раздел **Переменные** содержит три переменных проекта.

Этап 5. Определение датчика с помощью Исследования проектирования

Необходимо определить датчики для их использования в качестве ограничений в **Исследовании проектирования**. Исследование проектирования запускает соответствующее исходное исследование Simulation для обновления значения датчика. Например, оно запускает частотное исследование для отслеживания значений резонансных частот.

Определите датчик для отслеживания напряжения по Мизесу.

1. На вкладке **Вид переменной** вкладки исследования **MinVolume (МинОбъем)** в разделе **Ограничения** выберите **Добавить датчик**.



2. В окне PropertyManager в разделе Тип датчика , выберите **Данные моделирования**.

3. В разделе **Данные количественной величины** в поле Результаты  выберите **Напряжение**.

4. В компоненте  выберите **VON: напряжение по Мизесу**.

5. В разделе Свойства в поле **Единицы измерения**  выберите **Н/мм^2 (МПа)**.

6. В разделе **Критерий**  выберите **Макс модели** и нажмите на .

7. В дереве конструирования FeatureManager  в разделе **Датчики**  назовите датчик **Мизес**.

Просмотрите датчики **URES**, **Frequency** и **Volume1**, **Stress1**, которые отслеживают **результатирующее перемещение**, **наинизшую собственную частоту** и **Объем кронштейна**.

Аналогично можно создать любые датчики.

Этап 6. Определение ограничения напряжения по Мизесу

Ограничение применяется к максимальному напряжению по Мизесу, которое не должно превышать значения 300 МПа. Для определения ограничений в исследовании проектирования «оптимизация» можно использовать любой датчик или любую управляемую глобальную переменную. Для получения дополнительной информации об определении датчиков в качестве ограничений исследования проектирования просмотреть раздел документа *Справка SolidWorks Simulation Определение ограничений*.

1. На вкладке исследования проектирования **MinVolume**, в разделе **Ограничения**, выберите значение **Напряжение 1**. В разделе **Ограничения** отобразится соответствующий датчик.

2. В поле **Напряжение по Мизесу** выберите значение **Меньше, чем**.

3. В поле **Макс** введите **300 Н/мм²**.

Программа автоматически выбирает исследование **ReadyStatic**, используемое для запуска и отслеживания значения датчика, поскольку определено только одно статическое исследование.

Этап 7. Определение ограничения на деформацию

Максимальная результирующая деформация не должна превышать 0,21 мм.

1. На вкладке Исследования проектирования **MinVolume** в разделе **Ограничения** в списке выберите **URES**. Датчик отобразится в разделе **Ограничения**. Этот заранее определенный датчик отслеживает значение результирующего перемещения.

2. В поле **URES** выберите значение **Меньше, чем**.

3. В поле **Макс** введите значение **0,21 мм**.

Программа автоматически выберет исследование **ReadyStatic** для запуска и отследит значение датчика.

Этап 8. Определение ограничения на частоту

Наинизшая собственная частота должна быть в диапазоне от 260 до 400 Гц.

1. На вкладке Исследования проектирования **MinVolume** в разделе **Ограничения** в списке выберите **Частота**. Датчик отобразится в разделе **Ограничения**. Этот датчик отслеживает значение наинизшей собственной частоты.

2. Для параметра **Частота** выберите значение **В диапазоне**.

3. В параметре **Мин** введите **260 Гц**, а в параметре **Макс** – **400 Гц**.

Программа автоматически выберет исследование **ReadyFrequency** для запуска и отследит значение датчика. Вы определили три ограничения.

Этап 9. Определение цели

Целью настоящего Оптимизационного исследования проектирования является минимизация объема детали.

1. На вкладке Исследования проектирования **MinVolume** в разделе **Цели** в списке выберите датчик **Volume1**. Датчик отобразится в разделе **Цели**.

2. В поле **Volume1** выберите **Минимизировать**.



Можно также определить несколько целей в Оптимизационном исследовании проектирования. Можно присвоить значимость каждой из целей. Чем выше значимость цели, тем более важно оптимизировать эту цель. Программа изменяет конечную значимость цели следующим образом: (введенная Вами значимость цели)/(сумма значимостей введенных Вами целей).

Этап 10. Запуск оптимизационного исследования проектирования

На вкладке Исследования проектирования **MinVolume** выберите **Запуск**.

Программа выполняет 13 итераций (исключая исходный и оптимальный сценарии) после определения исследования **Высокого качества** и трех расчетных переменных. После выполнения экспериментов программа рассчитывает оптимальные расчетные параметры путем создания функции отклика, относящейся к цели переменных.

Этап 11. Просмотр результатов

На вкладке **Просмотр результатов** (рис. 2.5) исследования проектирования **MinVolume** выполните следующие действия.

1. Выберите столбец **Начальное**.




Просмотр переменных		Просмотр таблицы		Просмотр результатов	
25 из 29 сценарий завершены успешно. Качество исследования проектирования: Высокое					
		Current	Initial	Optimal (2)	Scenario 5
D1		25mm	25mm	25mm	25mm
D2		25mm	25mm	12.5mm	25mm
D3		50mm	50mm	25mm	25mm
Напряжение1	< 450 Н/мм^2	120.54 Н/мм^2	120.54 Н/мм^2	198.32 Н/мм^2	143.17 Н/мм^2
Частотный1	(260 Hz ~ 400 Hz)	365.5462 Hz	365.5462 Hz	297.35184 Hz	320.90479 Hz
Масса1	Minimize	0.106579	0.106579	0.081276	0.096379

Рисунок 2.5 – Просмотр результатов

В графическом окне к модели будут применены начальные размеры (рис. 2.6).

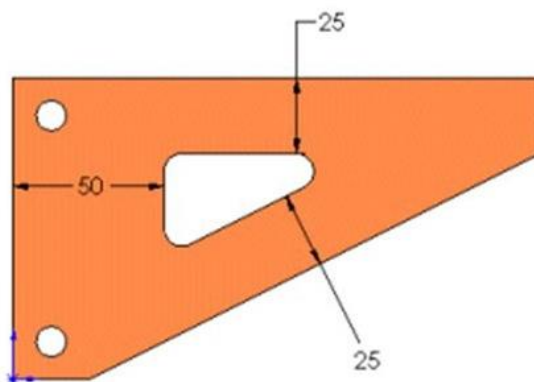


Рисунок 2.6 – Начальные параметры модели

2. Взгляните на столбец **Повтор 4** (рис. 2.7). Этот столбец выделен красным цветом, поскольку нарушены ограничения, касающиеся напряжения по Мизесу и перемещения.

	Iteration 4		Optimal
DV1	10mm	DV1	10.15358mm
DV2	10mm	DV2	21.91673mm
DV3	35mm	DV3	20.22934mm
Stress1	692.98 N/mm^2	Stress1	265 N/mm^2
Displacement1	0.81315mm	Displacement1	0.20565mm
Frequency1	315.76682 Hz	Frequency1	275.0127 Hz
Volume1	64022.28483mm^3	Volume1	70744.73193mm^3

Рисунок 2.7 – Начальные параметры модели

💡 Можно выбрать любой повтор и просмотреть соответствующий проект в графическом окне.

3. Взгляните на столбец **Оптимальное** (рис.2.7). Этот столбец выделен зеленым цветом, поскольку оптимизация выполнена успешно.

4. Выберите столбец **Оптимальное**. В графическом окне к модели будут применены оптимальные размеры (рис. 2.8).

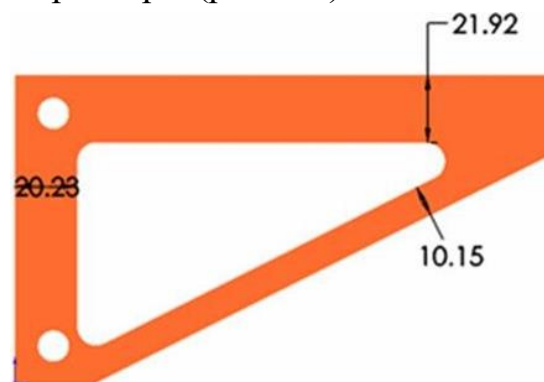


Рисунок 2.8 – Оптимальные параметры модели

Этап 12. График локальной тенденции

Можно создать графики локальной тенденции для просмотра вариаций ограничения или функции цели от расчетного параметра.

1. В левой рамке вкладки Исследование проектирования нажмите правой кнопкой мыши на папку **Результаты и графики** и выберите **Определить график локальной тенденции**.

Примечание: Не допускается создание графика локальной тенденции для оптимизационного исследования проектирования с непрерывными переменными.

2. В окне PropertyManager в разделе **Ось X** выберите **DV2**.

3. В PropertyManager в разделе **Ось Y** выберите **Ограничение** и в **Ограничении** выберите **По Мизесу**.

4. В разделе **График локальной тенденции** (рис. 2.9) выберите **Оптимальный**. Программа создает график вариации максимального напряжения по Мизесу по сравнению с расчетной переменной **DV2**. Тенденция отображается с двумя другими расчетными параметрами, установленными на оптимальные значения, как показано в столбце **Оптимальный**. Единицы измерения – МПа и мм для осей Y и X, соответственно.

5. Закройте график.

Этап 13. Оптимизация дискретных переменных

Для того чтобы результаты оптимизации можно было использовать для изготовления оптимальной детали, полученные значения следует округлить до ближайшего целого значения. После этого необходимо перестроить модель, создать сетку и запустить статическое исследование.

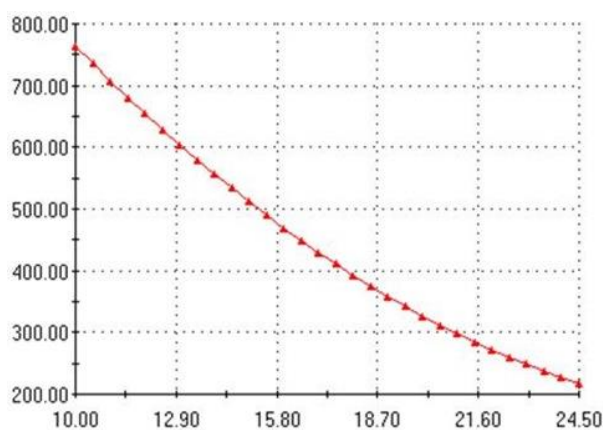


Рисунок 2.9 – График локальной тенденции

В качестве альтернативы можно использовать дискретные значения для переменных, которые должны соответствовать стандартам процесса изготовления, и выполнить оптимизацию.

Лабораторная работа 3

ПРИЛОЖЕНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ СИЛ

Дистанционные силы – это силы, приложенные в местах снаружи модели. Эти функциональные возможности иллюстрированы решением консольной балки, изготовленной из двух деталей, используя два метода. В первом методе консоль решена в качестве обычной сборки. Во втором методе деталь с силой не учитывается и приложено усилие в качестве дистанционной силы.

В настоящей работе вы изучите следующее (рис. 3.1):

- Приложение дистанционной нагрузки
- Просмотр и вывод списка напряжений и перемещений

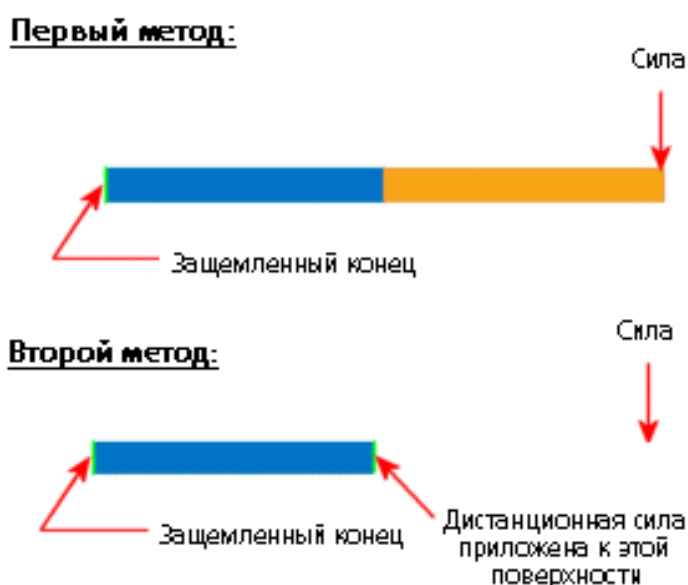


Рисунок 3.1 – Задание

Этап 1. Создание сборки (рис. 3.2):

- создали деталь – Brus1;
- создали деталь – Brus2;
- создали сборку – Brus.

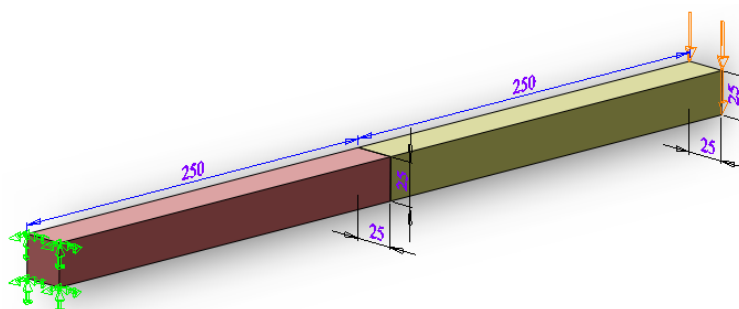


Рисунок 3.2 – Модель балки

Этап 2. Создайте статическое исследование:

- задаем материал – все компоненты из легированной стали;
- граничные условия – накладываем на выбранную грань ограничение

Фиксированный, как показано на рис. 3.1;


- задаем нагрузку – прикладываем силу равную 1000 Н на выбранную поверхность, как показано на рис. 3.2.

Этап 3. Создание сетки сборки и запуск исследования

Чтобы создать сетку сборки и запустить исследование:



- В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши значок

Сетка  и выберите **Создать сетку** .



- В PropertyManager (Менеджере свойств) установите параметры.
- В разделе **Параметры** выберите **Запуск (решение) анализа**.
- Выберите , чтобы принять величины.

Сетка создана и анализ выполнен.

Этап 4. Просмотр нормальных напряжений

1. В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой на папку **Результаты**  и выберите **Определить эпюру напряжения** .

2. В окне PropertyManager в разделе **Отобразить**:

- Выберите **SZ: нормальное напряжение z** в **Компонент** .
- Выберите **МПа** в меню **Единицы измерения** .



3. Снимите флажок **Деформированная форма** (в SolidWorks 2010 можно не снимать).

4. Нажмите кнопку .

Этап 5. Вывод списка нормального напряжения на границе раздела


Получите список SZ на верхней кромке поверхности сопряжения.

Чтобы вывести список нормального напряжения:

1. Нажмите правой кнопкой мыши **Напряжение (Нормаль Z)** в папке **Результаты**  и выберите **Зонд** .

2. В окне PropertyManager (Менеджера свойств), в разделе **Параметры**, выберите **Для выбранных объектов**.

3. В разделе **Результаты**:

- Выберите верхнюю кромку поверхности сопряжения двух консолей для **Грани, Кромки или Вершины**  (рис. 3.3).

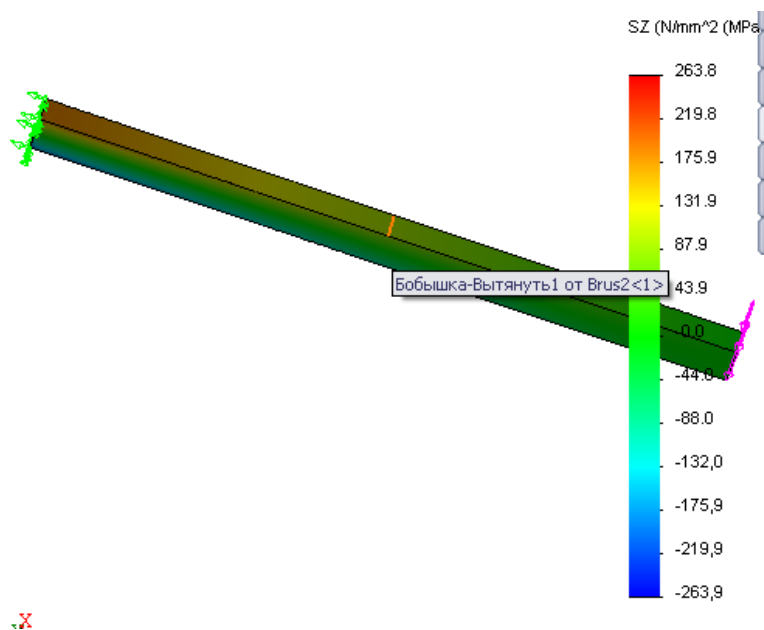



Рисунок 3.3 – Эпюра нормальных напряжений

- Нажмите **Обновить**.

В окне **Отчет** появится среднее нормальное напряжение 96 МПа. Положительное значение означает натяжение.

4. В разделе **Результаты**:

- Нажмите правой кнопкой мыши в **Грани, Кромки или Вершины**  и выберите **Сбросить выбор**.

- Выберите нижнюю кромку поверхности сопряжения двух консолей для **Грани, Кромки или Вершины** .

- Нажмите **Обновить**.



В окне **Отчет** появится среднее нормальное напряжение 96 МПа. Отрицательное значение означает сжатие.

- 5. Нажмите кнопку .



Этап 6. Просмотр вертикального перемещения

Постройте эпюру вертикального перемещения в направлении глобальной оси Y (UY).

Чтобы построить эпюру UY:

1. В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши на папку **Результаты**  и выберите **Определить эпюру перемещения** .

2. В окне PropertyManager в разделе **Отобразить** (рис. 3.4):

- ✓ Выберите **UY: Y-перемещение в Компонент** .
- ✓ Выберите дюймы в меню **Единицы измерения** .

3. Снимите флажок **Деформированная форма**.

4. Нажмите кнопку .

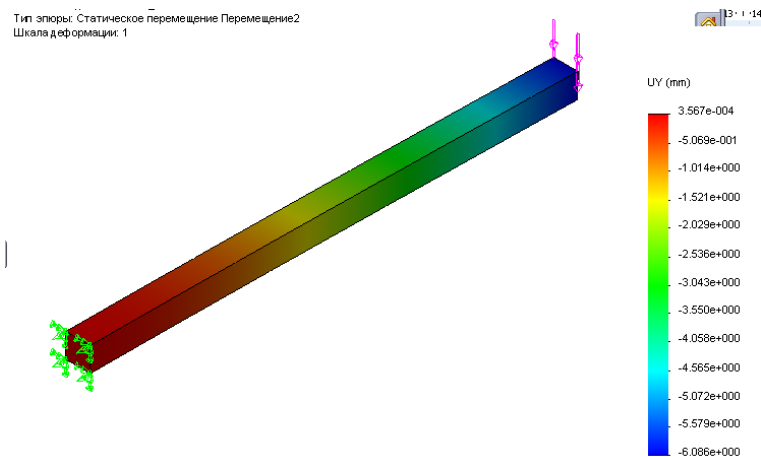




Рисунок 3.4 – Эпюра вертикальных перемещений

Этап 7. Вывод перемещения прогиба на границе раздела


Получите перемещения UY на поверхности сопряжения.

Чтобы вывести вертикальное перемещение:

1. Нажмите правой кнопкой мыши **Перемещение (Расположение Y)** в папке **Результаты**  и выберите **Зонд** .

2. В окне PropertyManager (Менеджера свойств), в разделе **Параметры**, выберите **Для выбранных объектов**.

3. В разделе **Результаты**:

✓ Выберите грань задней консоли для **Грани, Кромки или Вершины** . Используйте **Выбрать другой**, при необходимости.

✓ Нажмите **Обновить**.

В окне **Отчет** отобразится средний вертикальный прогиб – 1,9мм.

4. Нажмите кнопку .

5. Сохраните документ сборки.

Этап 8. Использование дистанционной силы

1. Замените Переднюю_Консоль (Brus1) и силу, приложенную к ней, на дистанционную силу. Вы моделируете только Заднюю_Консоль (Brus2).

2. В дереве конструирования FeatureManager нажмите правой кнопкой мыши на деталь **Brus2** и выберите **Открыть деталь**.



✓ Создайте новое статическое исследование:

✓ Задайте свойства материала – легированная сталь

✓ Задайте граничные условия – ограничение **Фиксированный** на одной грани консоли

✓ Приложите дистанционную силу 1000 Н на фактическое местонахождение, как показано на рисунке 3.4.

Чтобы приложить дистанционную силу:

1. Нажмите правой кнопкой мыши на папку **Внешние нагрузки**  и выберите **Удаленная нагрузка/масса**  (рис. 3.5).

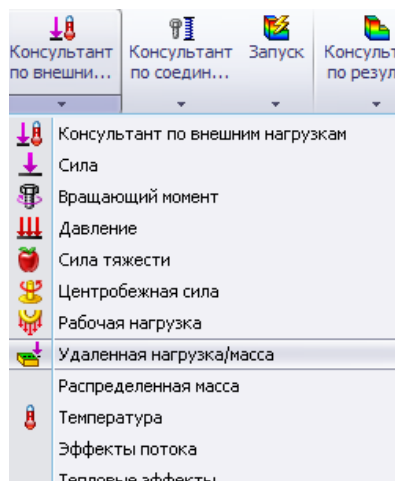




Рисунок 3.5 – Удаленная нагрузка/масса


2. В окне PropertyManager в разделе **Тип:**

- ✓ Выберите **Нагрузка (Прямой перенос)**.
- ✓ Выберите показанную грань для **Грани** для удаленной нагрузки

 (рис. 3.6).

3. В окне **Местонахождение:**

- ✓ Выберите **мм** в меню **Единицы измерения** .
- ✓ Введите 12.5, 12.5, и 250 для **Положений X, Y, и Z** соответственно.

 *X, Y и Z определяют фактическое местоположение силы относительно глобальной системы координат.*

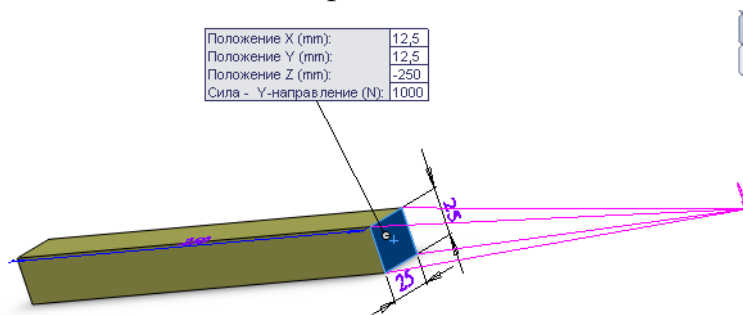


Рисунок 3.6 – Грани для удаленной нагрузки

4. В окне **Сила** выполните следующие действия:



✓ Выберите **Н** в меню **Единицы измерения** .

✓ Выберите **Y-направление** , введите в окне **1000** и выберите **Реверс направления**.

5. Нажмите кнопку .

Этап 9. Создание сетки детали и запуск исследования

Создание сетки модели и запуск исследования:

1. В дереве исследования **Simulation** нажмите правой кнопкой мыши значок **Сетка**  и выберите **Создать сетку** .

2. В поле **Параметры сетки**:

✓ Введите **6** в поле **Глобальный размер** .

✓ Введите **0,3** в поле **Допуск** .

3. В разделе **Параметры** выберите **Запуск (решение) анализа**.

4. Нажмите кнопку .

5. Нажмите кнопку **Нет**, если запрошен перезапуск анализа с установленным флажком **Большие перемещения**.

Используйте одинаковые параметры и размер сетки, как в анализе сборки для того, чтобы сделать четкое сравнение результатов.

Этап 10. Просмотр и вывод напряжения по нормали

1. Создание эпюры нормальных напряжений в глобальном Z-направлении (SZ) (рис. 3.7).

2. Перечень SZ на верхней кромке свободного конца детали. Среднее нормальное напряжение равно 96 МПа.



Просмотр и вывод вертикального перемещения

3. Эпюра вертикального перемещения в направлении глобальной оси Y (UY) (рис. 3.8).

4. Отображение UY на свободном конце консоли. Среднее значение вертикального перемещения равно -1,9мм.

Вывод списка сил на границе между двумя консолями

Чтобы вывести список сил на поверхности сопряжения между двумя консолями (рис. 3.9):

1. В дереве исследования **Simulation** правой кнопкой мыши на папку **Результаты**  и выберите **Вывести результирующие силы** .

2. В PropertyManager (Менеджере свойств) в разделе **Параметры** выберите **Сила интерфейса удаленной нагрузки**.

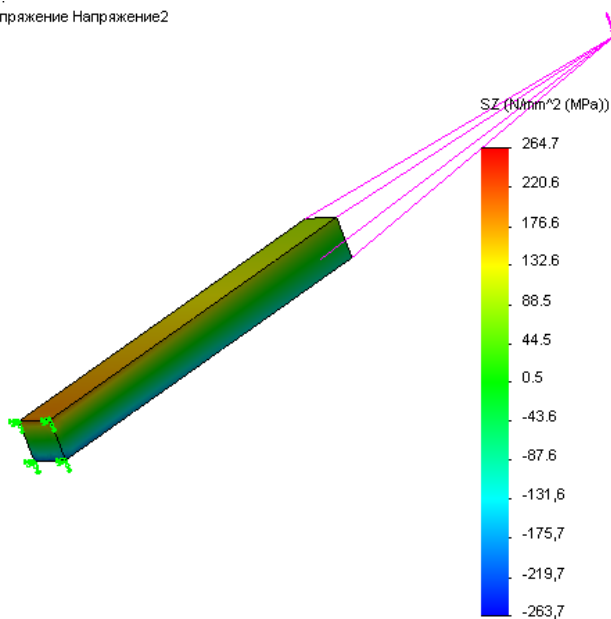


Рисунок 3.7 – Эпюры нормальных напряжений в глобальном Z-направлении

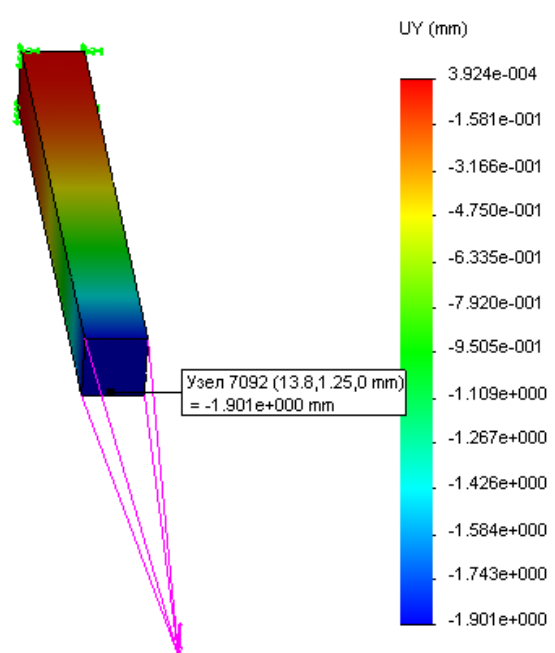



Рисунок 3.8 – Эпюра вертикального перемещения в направлении глобальной оси Y

3. Выберите хвостовик свободного конца консоли для **Грани, Кромки или Вершины** .

4. Нажмите **Обновить**.

В окне **Сила интерфейса удаленной нагрузки** просмотрите сумму сил в X-, Y-, и Z-направлении, действующих на всю поверхность, а также равнодействующую силу.

5. Нажмите кнопку .

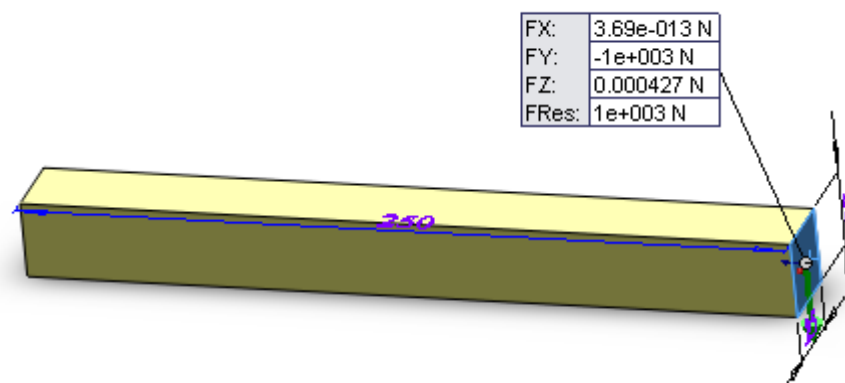


Рисунок 3.9 - Список сил на границе между двумя консолями

Лабораторная работа 4

АНАЛИЗ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ

Анализ потери устойчивости вычисляет коэффициенты потери устойчивости (критические) под нагрузкой и соответствующие моды потери устойчивости.

В настоящем упражнении вы изучите следующее:

- создание исследования потери устойчивости под нагрузкой
- определение параметров оболочки и назначение материалов
- применение креплений и нагрузок к оболочкам
- создание сетки моделей оболочек
- просмотр результатов анализа потери устойчивости
- вычисление критической продольной нагрузки

Три прямоугольных пластины 250мм x 50мм соединены, как показано на рисунке 4.1. Центральная пластина имеет толщину 10мм. Две другие пластины имеют толщину 5 мм.

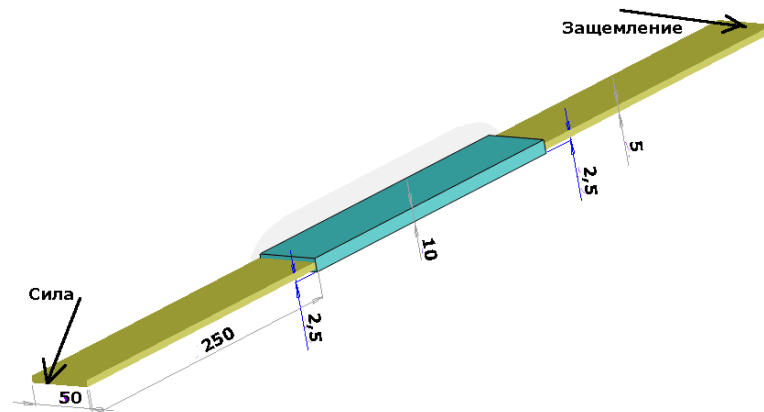


Рисунок 4.1 – Исходная конструкция

Этап 1. Создание оболочечной модели конструкции (рис. 4.2).

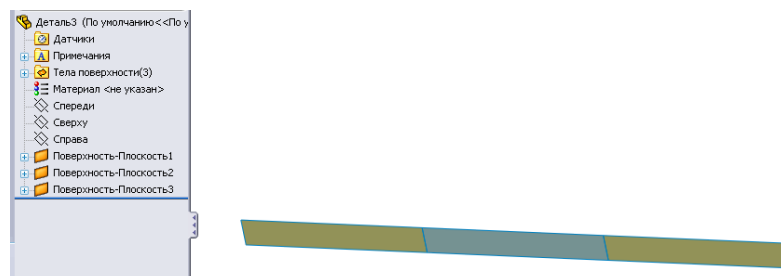






Рисунок 4.2 – Оболочечная модель конструкции

Этап 2. Задаем исследование потери устойчивости под нагрузкой:

1. Выберите **Новое исследование**  (Диспетчер команд Simulation).
2. В окне PropertyManager (Менеджер свойств) в поле введите **Имя**.
3. В окне **Тип** нажмите **Потеря устойчивости** .
4. Нажмите .

Этап 3. Редактируем толщину левой и правой оболочек:

1. Нажмите на  **Тело поверхности 1** и выберите **Редактировать определение**.
2. В окне PropertyManager (Менеджер свойств), в разделе **Тип** выберите **Тонкий** (рис. 4.3).

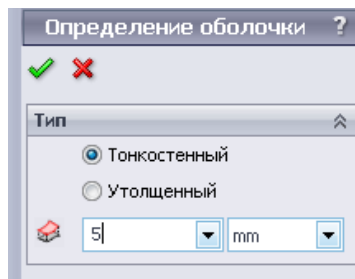



Рисунок 4.3 – Окно PropertyManager

3. Выберите **мм**, затем введите **5** в поле **Толщина оболочки**.

4. Нажмите кнопку .

5. Аналогично для  **Тело поверхности 3i**

6. Для средней оболочки:  **Тело поверхности 2i** в поле **Толщина оболочки** вводим 10мм.

Этап 4. Задаем материал

Левая и правая оболочки изготовлены из легированной стали, а средняя оболочка изготовлена из нержавеющей стали.

Этап 5. Задаем граничные условия и нагрузку, как показано на рис. 4.4.

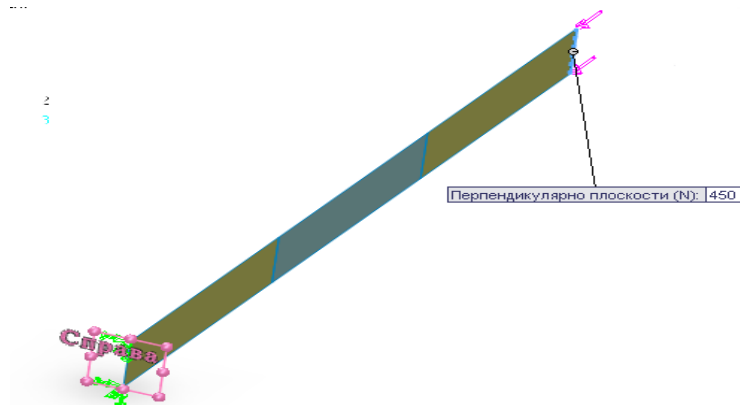


Рисунок 4.4 – Граничные условия и нагрузка

Этап 6. Запускаем исследование (рис. 4.5):

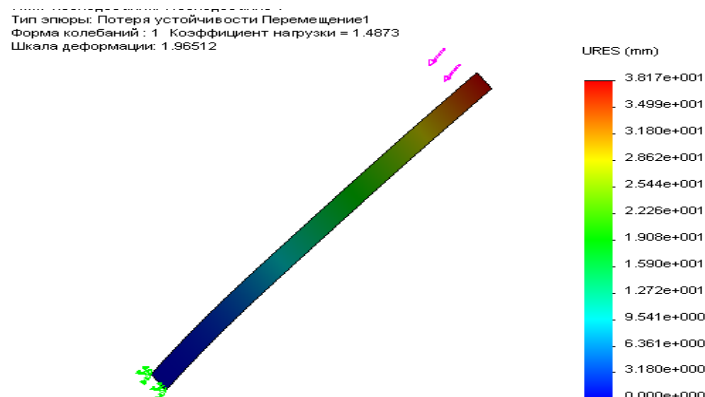


Рисунок 4.5 – Первая мода формы потери устойчивости

Отображение первой моды формы потери устойчивости соответствует коэффициенту критической продольной нагрузки.

Этап 7. Получаем коэффициент критической продольной нагрузки:

1. Нажмите правой кнопкой мыши на папку **Результаты** и выберите **Показать коэффициенты критической продольной нагрузки**. Коэффициент критической продольной нагрузки равен приблизительно 1,49 (рис. 4.6).

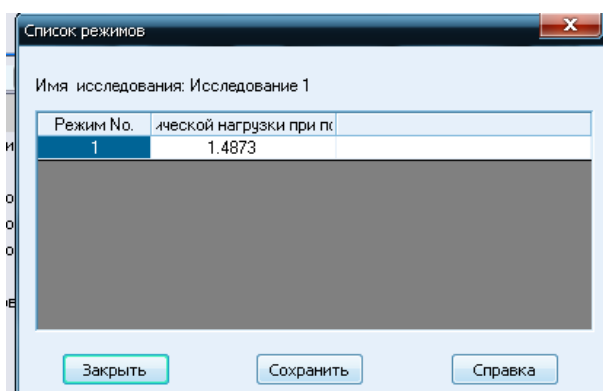


Рисунок 4.6 – Коэффициент критической продольной нагрузки

2. Нажмите кнопку **Закрыть**.

Критическая продольная нагрузка (вызывающая потерю устойчивости) подсчитана следующим образом:

Критическая продольная нагрузка = Приложенная нагрузка(и) X Коэффициент критической продольной нагрузки

Для настоящей модели имеем:

критическая продольная нагрузка = $450 \cdot 1,49 = 670,5 \text{ Н}$

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИКИ И ДИНАМИКИ ШАРНИРНОГО МЕХАНИЗМА

Исполнительный механизм, показанный на рисунке 5.1, приводится в движение силой 67 Н, приложенной к плунжеру. Желательно исследовать модель, когда поршень исполнительного, механизма испытывает сопротивление $8,75 \times 10^4$ Н/м корпуса исполнительного механизма. Основание механизма находится на толстом листе резины, характеризующей жесткостью $2,7 \times 10^8$ (Н/м).

В настоящем упражнении вы изучите следующее:

- определение различных типов шарниров
- определение упругого основания
- запуск частотного анализа и вывод списка собственных частот исполнительного механизма

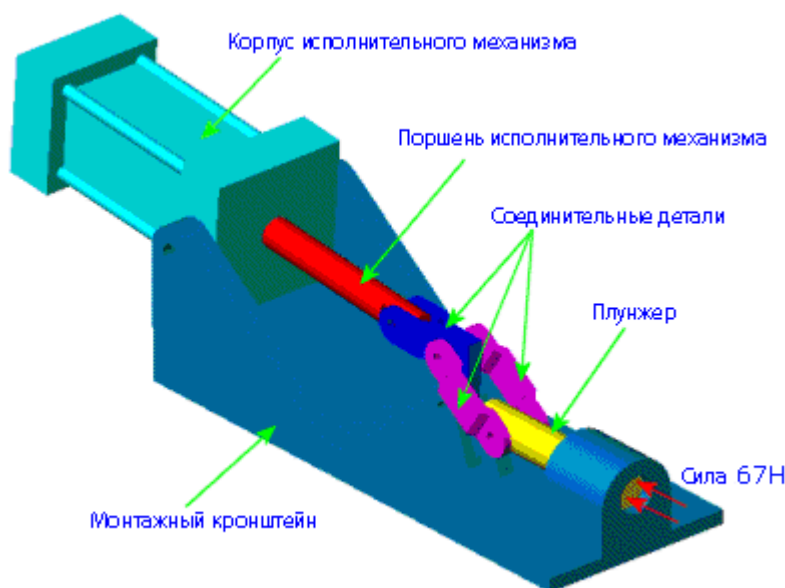



Рисунок 5.1 – Исполнительный механизм

Этап 1. Задаем исследование

1. **Открыть** Actuator_all.SLDASM.

2. **Задаем** Статическое исследование - **правой кнопкой** кликнем на .

3. **Выбираем** решающую программу – Direct Sparse (рис. 5.2)

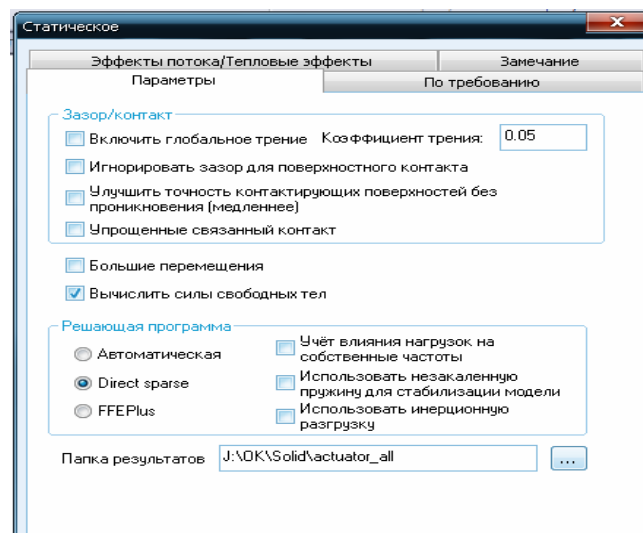


Рисунок 5.2 – Выбор параметров решающей программы

4. Назначаем материалы для элементов конструкции следующим образом:

Имя компонента	Материал	Источник материала
actuator_casing- 1, link1-1, link2-1, link2-2 и mounting_bracket-1	Легированная сталь	Библиотека материалов SolidWorks
actuator_piston- 1 и plunger-1	Литая легированная сталь	Библиотека материалов SolidWorks

5. Прикладываем силу, как показано на рис. 5.3. Сила равная 67 Н приложена к концу плунжера

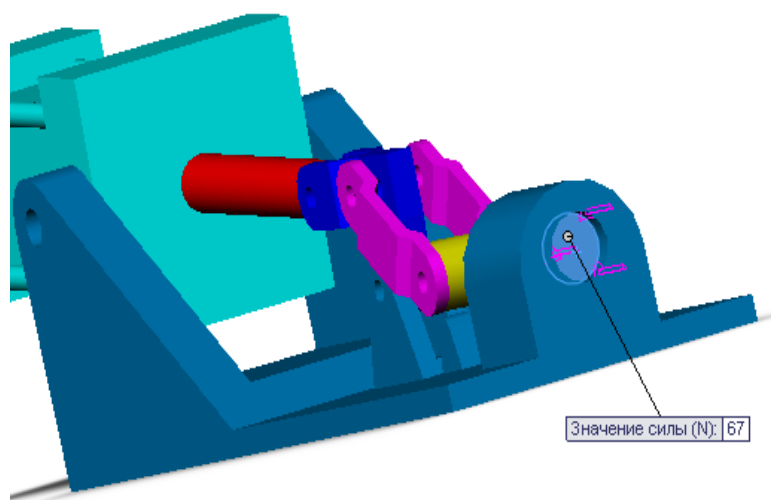


Рисунок 5.3 – Сила, действующая на исполнительный механизм

6. Определяем соединения между цилиндрическими поверхностями различных компонентов. 8 соединений «шпилька», показанных на рисунке 5.4, представляют собой гладкие шарниры (шарниры, которые не сопротивляются вращению, но имеют большое сопротивление движению относительно оси). Чтобы определить Соединитель шпилька: В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши папке Соединения и выберите Шпилька. В окне PropertyManager(рис. 5.5) в разделе Тип:

- Выберите грань левого отверстия link1 для Цилиндрические поверхности Компонента1.
- Выберите цилиндрическую поверхность actuator_piston<1> для Цилиндрические поверхности Компонента2

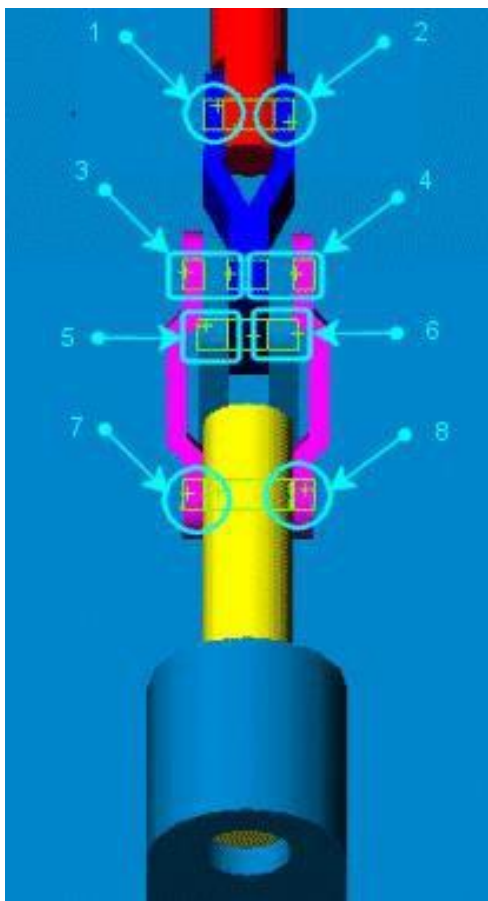


Рисунок 5.4 – Соединения «шпилька» исполнительного механизма

- В окне Тип соединения снимите флажок с обоих параметров.
- В окне Дополнительные параметры: выберите SI в меню Единицы измерения и введите 1,75e8 в поле Осевая жесткость.
- Убедитесь, что Жесткость вращения установлена на нуль.
- Нажмите кнопку ✓.

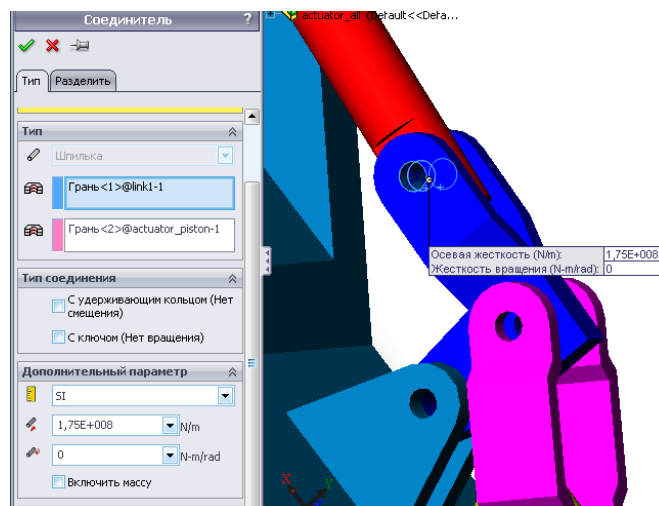


Рисунок 5.5 – Окно PropertyManager

7. Аналогичным образом определите остальные соединения, показанные на рисунке 5.4, а также 2 соединения между корпусом исполнительного механизма и монтажным кронштейном (рис. 5.6).

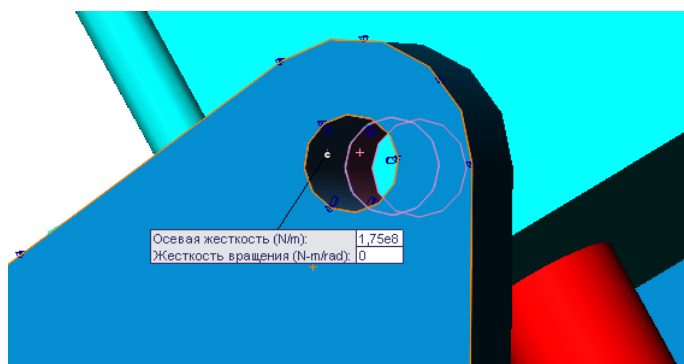


Рисунок 5.6 – Соединения между корпусом исполнительного механизма и монтажным кронштейном

8. **Определяем шарнир**, который соединяет компоненты плунжер и монтажный кронштейн (рис. 5.7).

Шарнир свободно перемещается в осевом направлении и имеет высокую жесткость вращения. Кроме того, ограничьте движение торцевой поверхности плунжера в плоскости для предотвращения передвижений твердого тела.

- В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши значок **Соединения** и выберите **Шпилька**.

- В окне PropertyManager в разделе Тип: выберите цилиндрическую поверхность плунжера для Цилиндрические грани/кромки Компонента1.

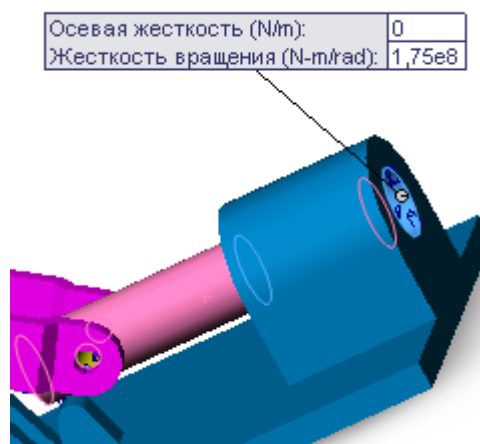


Рисунок 5.7 – Шарнир, который соединяет компоненты плунжер и монтажный кронштейн


- Выберите внутреннюю цилиндрическую поверхность конца вытяжки монтажного кронштейна для Цилиндрические грани/кромки Компонента2.
 - В окне Тип соединения снимите флажок с обоих параметров.
 - В окне Дополнительные параметры:
 - ✓ выберите SI в меню Единицы измерения,
 - ✓ убедитесь, что Осевая жесткость установлена на нуль,
 - ✓ введите 1,75e8 в поле Жесткость вращения.
 - Нажмите кнопку .
9. Чтобы стабилизировать деталь плунжер:
- В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши значок Крепления и выберите Зафиксированная геометрия.
 - В PropertyManager (Менеджере свойств), на вкладке Тип:
 - ✓ выберите На плоской грани в разделе Дополнительно,
 - ✓ выберите плоский торец плунжера, как показано на рисунке 5.8.



Рисунок 5.8 – Выбор граней

- В окне Смещения:
 - ✓ нажмите Вдоль грани - направление 1 и Вдоль грани -

направление 2;

✓ введите 0 для каждого направления.

- Нажмите кнопку ✓.

10. Определяем шарнир между *actuator_casing* и *actuator_piston*.

- Чтобы облегчить выбор поверхностей, создайте разрез сборки. (рис. 5.9),

для этого:

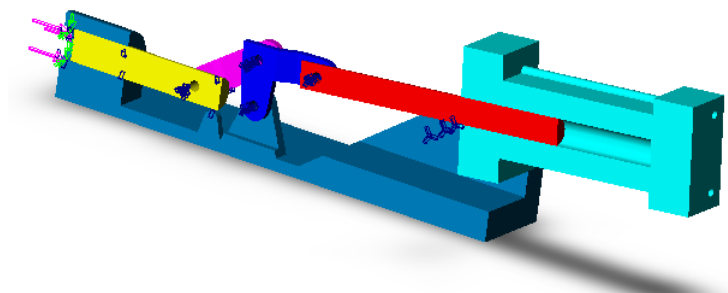




Рисунок 5.9 – Разрез сборки

- ✓ щелкните на панели Вид – Отображение – Разрез ,
- ✓ в окне PropertyManager (Менеджер свойств), в разделе Разрез
- ✓ убедитесь, что Плоскость1: появилась в Справочная плоскость/

поверхность сечения,

- ✓ если необходимо, щелкните Реверс направления сечения,
- ✓ нажмите кнопку ✓.

• Определяем силу сопротивления:

✓ В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши на папке Соединения  и выберите Шпилька.

✓ В окне PropertyManager в разделе Тип: *actuator_casing* для Цилиндрические поверхности Компонента1 и выберите цилиндрическую грань *actuator_piston* для Цилиндрические поверхности Компонента2 (рис. 5.10).

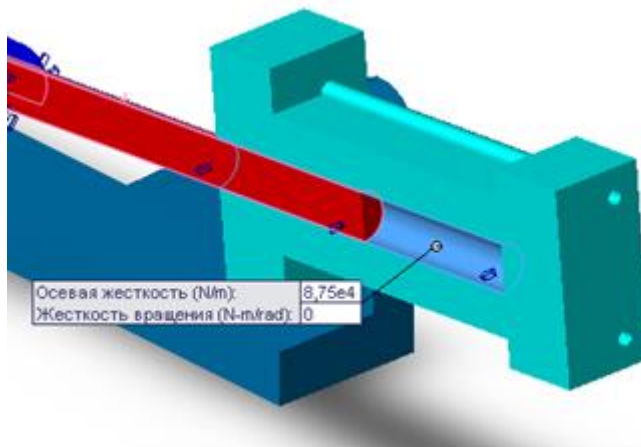



Рисунок 5.10 – Выбор внутренних граней

- ✓ В окне Тип соединения снимите флажок с обоих параметров.
- ✓ В окне Дополнительный параметр: Выберите SI в меню Единицы измерения. Введите $8,75e4$ в поле Осевая жесткость. Убедитесь, что Жесткость вращения установлена на нуль.

- ✓ Нажмите кнопку .

- Снова выберите инструмент **Разрез** для восстановления первоначального вида сборки.

Чтобы определить упругое основание:

- В дереве исследования Simulation нажмите правой кнопкой мыши папке Крепления и выберите Упругое основание.

- В PropertyManager (Менеджере свойств), в окне Тип, выберите нижнюю грань (рис. 5.11) mounting_bracket для Грани для упругого основания.

- В окне Жесткость (рис. 5.11): выберите SI в меню Единицы измерения и выберите Распределенные.

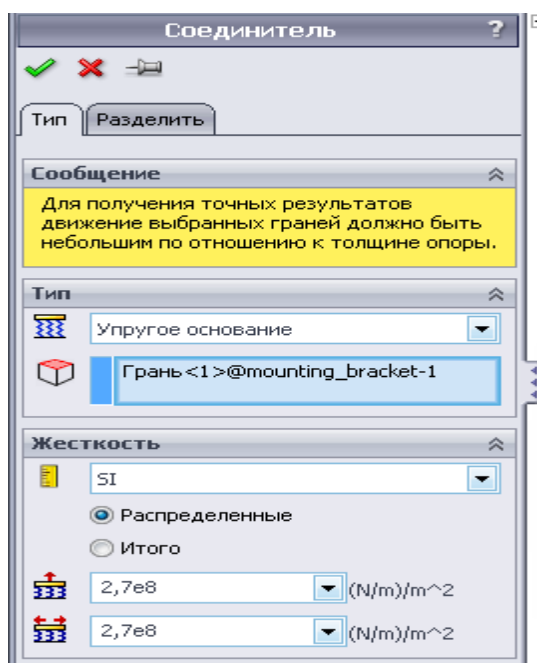


Рисунок 5.11 – Окно PropertyManager

11. Определение упругого основания. Сборка исполнительного механизма находится на толстом листе резины (рис. 5.12), характеризуемой жесткостью $2,7e8$ (Н/м).

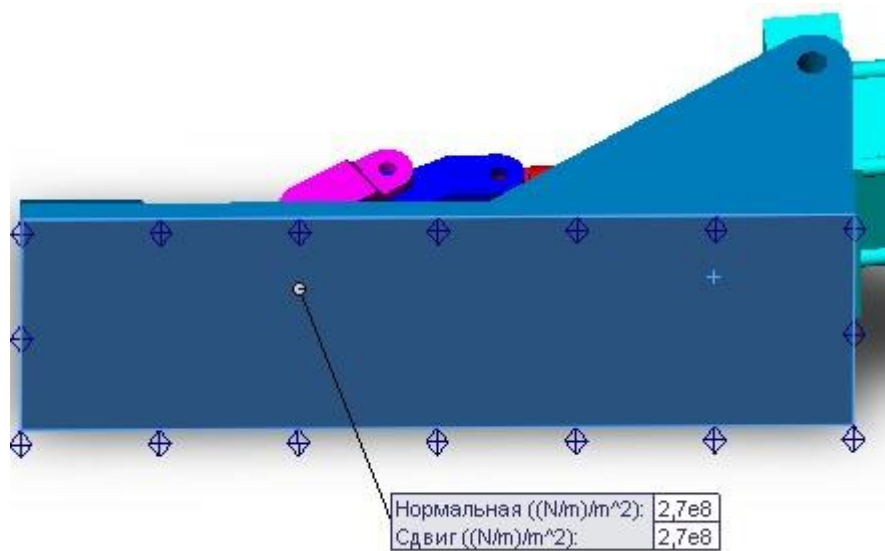



Рисунок 5.12 – Сборка исполнительного механизма

- Введите 2,7e8 в поле Нормальная жесткость и жесткость Сдвига.
- Нажмите кнопку .

12. Назначение глобального контакта (рис. 5.13). Задайте свободное условие глобального контакта на всех контактирующих поверхностях сборки.

Чтобы задать контакт:

- Нажмите стрелку вниз рядом с параметром Соединения (**Simulation Command Manager**) и выберите Контакты компонентов. Появится окно PropertyManager Компонент соприкосновения (рис. 5.13).

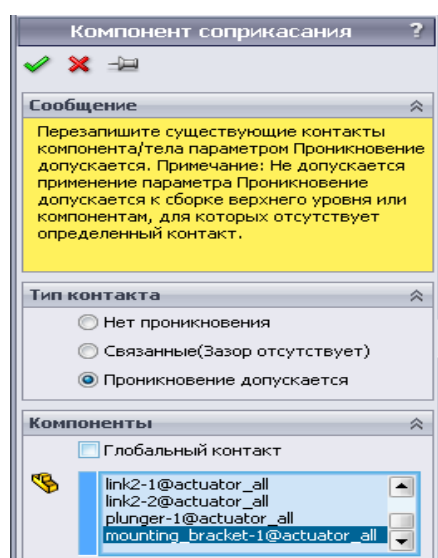



Рисунок 5.13 – Компонент соприкосновения

- В разделе **Компоненты** выберите все тела в графическом окне.
- В разделе **Тип контакта** выберите **Проникновение допускается**.

- Нажмите кнопку .

13. Создание сетки модели и запуск исследования:

- В дереве исследования **Simulation** нажмите правой кнопкой мыши на параметр **Сетка** и выберите **Создать сетку**.
- В **PropertyManager** выберите необходимые **Параметры сетки**.
- В разделе **Параметры** выберите **Запуск** (решение) анализа.
- Нажмите для  принятия значений по умолчанию. Сетка создана (рис. 5.14) и анализ выполнен.

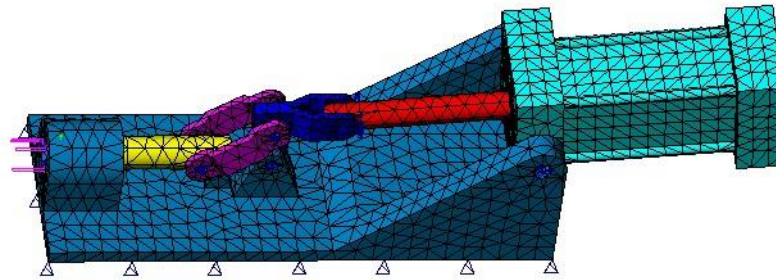






Рисунок 5.14 – Конечно-элементная сетка

14. Просмотр результатов (рис. 5.15)

- Нажмите правой кнопкой мыши **Перемещение** (Расположение результата) и выберите **Анимировать** .
- В окне **PropertyManager** (Менеджер свойств), в разделе **Основы**:
 - ✓ Установите **Кадры**  на 15.
 - ✓ Установите скорость .
 - ✓ Нажмите кнопку  - воспроизвести.

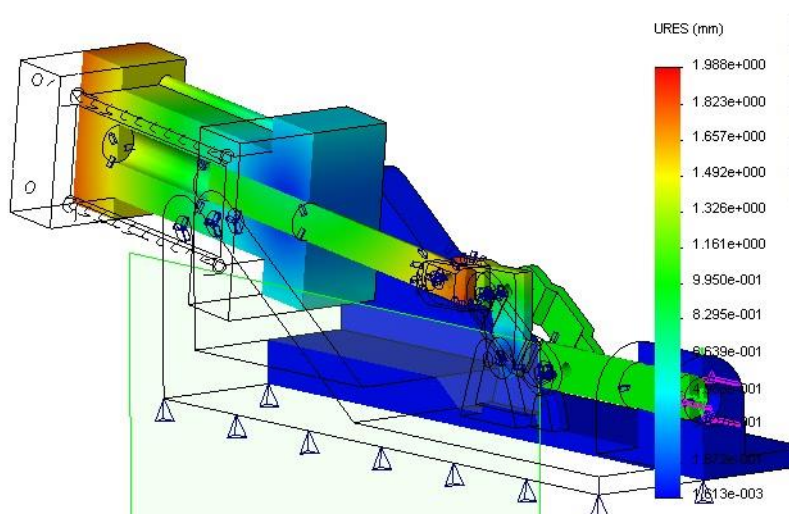


Рисунок 5.15 – Просмотр результатов

Этап 2. Определение собственных частот и форм колебаний.

1. Создайте частотное исследование:

- В дереве исследования **Simulation** нажмите правой кнопкой мыши значок **Actuator** (Исполнительный механизм) и выберите **Исследование**.

- В окне **PropertyManager** (Менеджер свойств) создайте частотное исследование, названное **Frequency** (Частота) с сеткой на твердом теле, затем нажмите ОК.

2. Определите материалы, нагрузки и крепления, используя «перетащить и оставить».

- В дереве исследования **Simulation** перетащите папку Твердые тела из статического исследования и оставьте ее на значке частотного исследования. Это действие скопирует назначения материалов.

- Перетащите папки **Крепления** и **Внешние нагрузки** из статического исследования и оставьте их на вкладке частотного исследования. Это скопирует все нагрузки и крепления.

- Погасите **Сила 1** чтобы исключить влияние этой силы из частотного исследования.


- Перетащите папку **Контакт/зазоры** из статического исследования и оставьте ее на значке частотного исследования. Это устанавливает глобальный контакт на **Свободный**.

- Перетащите значок **Сетка** из статического исследования и оставьте его на вкладке частотного исследования. Это действие скопирует сетку.

3. Выбор решающей программы частотного анализа для исследований шарнирных коннекторов.

Решающая программа. Позволяет задать решающую программу для использования в вычислении резонансных частот и связанных форм колебаний (мод). Для включения влияния нагрузки на резонансные частоты выберите **Автоматически** или **Direct Sparse**.

Чтобы выбрать решающую программу **Direct Sparse**:


- В дереве исследования **Simulation** нажмите правой кнопкой мыши значок  частотного исследования и выберите **Свойства**.

Откроется диалоговое окно **Частота**.

- В списке **Решающая программа** выберите **Direct Sparse**.

- Нажмите **ОК**.

4. Запуск частотного исследования:

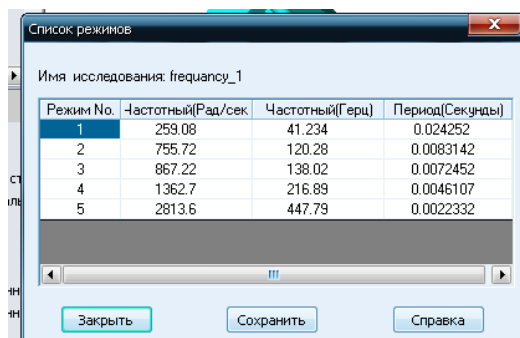
Нажмите правой кнопкой мыши значок частотного исследования  и выберите **Выполнить**.

5. Просмотр результатов. После завершения частотного анализа получите

список собственных частот модели исполнительного механизма. Чтобы вывести список собственных частот модели:

- Щелкните **Simulation**, Список результатов, Режимы.

В окне списка **Список Мод** перечислены номер моды, резонансная частота (в Рад/сек и Гц) и соответствующий период в секундах (рис. 5.16).



Режим No.	Частотный(Рад/сек)	Частотный(Герц)	Период(Секунды)
1	259.08	41.234	0.024252
2	755.72	120.28	0.0083142
3	867.22	138.02	0.0072452
4	1362.7	216.89	0.0046107
5	2813.6	447.79	0.0022332

Рисунок 5.16 – Список собственных частот модели

•Нажмите кнопку **Закреть**. На рисунке 5.17 представлены формы колебаний.

Тип эпюры: Частотный Перемещение1
Форма колебаний : 1 Значение = 41.234 Гц
Шкала деформации: 0.0128048

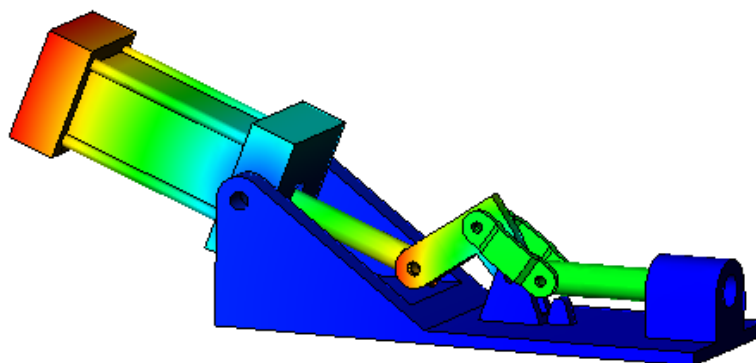


Рисунок 5.17 – Форма колебаний

Вычисление собственных частот модели позволяет предотвратить чрезмерную реакцию, вызываемую резонансом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елманова Н.З. Delphi и технология COM. – СПб.: «Питер», 2003. – 698 с.
2. SolidWorks 2006: API Fundamentals. Учебно-методичний посібник / Склад. Dessault Systemes // SolidWorks Corp. – Concord (USA): “SolidWorks Corp.”, 2005. – 376 с.
3. Spens M. Automating SolidWorks 2006 Using Macros. – Kansas City (USA): “SDC Publications”, 2005 – 698 с.
4. Malpass L. SolidWorks 2008 API: Programming & Automation. – Stoke-on-Trent (UK): “AngelSix”, 2008. – 267 с.
5. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008: Компьютерное моделирование в инженерной практике. – СПб: «БХВ-Петербург», 2008. – 1040 с.
6. Алямовский А.А. COSMOSWorks: Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. – М.: «ДМК Пресс», 2010. – 784 с.
7. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: «ДМК Пресс», 2010. – 464 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Вступление	3
Лабораторная работа 1 Оптимизация формы посредством исследования проектирования.....	4
Лабораторная работа 2 Оптимизация формы посредством исследования проектирования – частотный анализ	16
Лабораторная работа 3 Приложение дистанционных сил	25
Лабораторная работа 4 Анализ потери устойчивости.....	32
Лабораторная работа 5 Исследование статики и динамики шарнирного механизма.....	35
Список литературы.....	46

Навчальне видання

ВОДКА Олексій Олександрович
КЕДРОВСЬКА Ольга Валентинівна

Інтегровані комп'ютерні системи аналізу динаміки та міцності машин і їх елементів

Лабораторний практикум з курсу
«Інтегровані комп'ютерні системи проектування та аналізу»

Російською мовою

Роботу до видання рекомендував *С.К. Шелковий*
Відповідальний за випуск *Г.І. Львов*
В авторській редакції

План 2016р.

Підписано до друку 22.12.2016р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 2,0.
Наклад 150 прим.

Видавничий центр НТУ „ХПІ”
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009 р.
